



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**CATÁLOGO DE DAÑOS FRECUENTES EN
CARRETERAS FEDERALES CAUSADOS POR
DESASTRES NATURALES EN MÉXICO**

T E S I N A

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

ESPECIALISTA EN VÍAS TERRESTRES

P R E S E N T A :

ING. ORLANDO DE JESÚS ALVA GONZÁLEZ

DIRECTOR DE TESINA: ING. PEDRO CORONA BALLESTEROS

CIUDAD DE MÉXICO

SEPTIEMBRE 2017

Agradecimientos

A Dios, por ser mi compañía y mi guía en los momentos cruciales de mi vida. Por brindarme fortaleza en mi espíritu y paz en mi alma para seguir alcanzando mis objetivos y sueños.

A mis padres Francisco y Rosa María; quienes con su gran amor, sabiduría, esfuerzo y sacrificio hicieron posible alcanzar las metas propuestas. Sus valores han forjado mi carácter y cimentado mis principios; son el vivo ejemplo de trabajo, responsabilidad, integridad, dedicación y fe.

A mis hermanos; por sus palabras, enseñanzas, apoyo incondicional y sobre todo su cariño.

A mis amigos y compañeros, quienes fueron mis aliados y acompañantes en la carrera. Con ellos conocí la lealtad y compartí grandes experiencias que recordaré siempre.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por medio de la **Facultad de Ingeniería**, quien me brindo nuevamente el maravilloso e inigualable privilegio de desarrollarme profesionalmente en sus aulas.

Agradezco ampliamente la asesoría, la confianza y el apoyo del **Ing. Pedro Corona Ballesteros**. Sus conocimientos fueron vitales para la realización y culminación de esta tesina. Así también agradezco al Dr. Eduardo Reinoso Angulo y a Faustino Ventura Marcial por su asesoría y apoyo académico.

Índice

1. Introducción y objetivos	1
2. Eventos analizados	3
2.1 Fenómenos Hidrometeorológicos	4
2.1.1 Ciclones tropicales	4
2.1.2 Precipitaciones pluviales	5
2.1.3 Inundaciones.....	5
2.2 Fenómenos Geológicos	7
2.2.1 Sismicidad	7
2.2.2 Deslizamiento de laderas	8
3. Base de datos sobre daños	10
3.1 Fuentes y captura de registros de daños.....	10
3.2 Descripción general	11
3.2.1 NUM – ID:	11
3.2.2 Ubicación (X, Y, ESTADO, MUNICIPIO):	12
3.2.3 Clasificación de la carretera (ADMINISTRACIÓN, TIPO)	14
3.2.4 Información sobre el tramo (NUM CARRETERA, NOMBRE VIALIDAD, KM, TIPO DE PAVIMENTO).....	14
3.3 Descripción de Daños.....	15
3.3.1 Tipo de daño.....	15
3.3.2 Nivel de daño	15
3.3.3 Agente de daño.....	15
3.3.4 Observaciones	16
4. Evaluación de daños y catálogo	17
4.1 Clasificación de daños.....	17
4.2 Daños por agrietamiento.....	17
4.3 Daños por azolve.....	19
4.4 Daños por colapso de puentes	21
4.5 Daños por derrumbes.....	26
4.6 Daños por deslaves	27
4.6.1 Falla del talud de corte	29
4.6.2 Falla del talud de terraplén	31

4.6.3 Falla conjunta de corte y terraplén.....	32
4.7 Daños por erosión hídrica.....	34
4.8 Daños por inundación.....	35
4.9 Daños por seccionamiento.....	38
4.10 Daños por socavón	41
5. Georreferenciación y mapas de riesgo	43
5.1 Mapas de daños	43
5.2 Mapas de riesgo existentes	54
5.2.1 Comparación con los daños recopilados.....	54
6. Conclusiones.....	60
7. Anexos.....	64
Anexo 1. Base de datos sobre daños – Descripción General	64
Anexo 2. Base de datos sobre daños - Descripción de Daños.....	69
Anexo 3. Catálogo de Imágenes de Daños	73
Bibliografía	77

1. Introducción y objetivos

A partir de la mitad del siglo XX, México comenzó con el desarrollo de proyectos carreteros para mejorar la comunicación entre los diversos centros urbanos que comenzaban a crecer en aquel entonces, ya que esto permitía que el desarrollo económico y social pudiera llegar a las regiones más aisladas de la república. Las carreteras, junto con otros sistemas de transporte hacen posible la integración del territorio nacional y es ahí donde recae su importancia vital para el crecimiento económico y el bienestar social de la población.

Dada esta importancia, la infraestructura debe cumplir con requerimientos que garanticen su correcto funcionamiento y adecuado desempeño durante su vida útil, con el fin de evitar fallos que pueden desembocar en afectaciones a los usuarios y a las actividades económicas en la región, así como mayores costos en cuanto mantenimiento y rehabilitación.

México se encuentra en un contexto geográfico complejo, ya que su superficie continental se encuentra entre dos de los océanos más grandes del planeta, los cuales a su vez son grandes regiones ciclogénicas en donde se desarrollan gran parte de los ciclones tropicales cada año.

Así también, la república mexicana está cercana al Cinturón de Fuego del Pacífico, por lo que se ve afectada por la interacción de 5 placas tectónicas. Lo anterior se relaciona a que el territorio nacional se caracteriza por tener una topografía muy accidentada debido a la presencia de diferentes sistemas orográficos originados por la actividad de dichas placas.

Una vez mencionado lo anterior, resulta lógico que en el país ocurran diversos fenómenos naturales cada año de impacto importante, los cuales pueden generar grandes pérdidas humanas y materiales. México es altamente vulnerable a esos fenómenos, si se añade el hecho de la presencia de grandes centros de población dentro del territorio, lo que incrementa el riesgo de pérdida de vidas y daños a la infraestructura en general.

Durante la ocurrencia de fenómenos naturales de gran magnitud uno de los sectores de la infraestructura que resulta más afectado es el sector carretero, ya que cada año un importante número de tramos resulta con algún tipo de daño, derivado de la ocurrencia de dichos fenómenos. Estas afectaciones provocan a su vez graves consecuencias en el ámbito económico y social, debido a la pérdida de la conectividad entre centros de población.

Por la frecuencia con la que se presentan estos daños y las consecuencias graves que pueden generar, es necesario llevar a cabo un análisis acerca de las características propias de las afectaciones, para que con la información obtenida sea posible realizar acciones para evitar la ocurrencia de estos daños en el futuro y con ello minimizar los efectos directos e indirectos en la población en general.

El objetivo de este trabajo es identificar, describir y clasificar los daños más frecuentes que se presentan en las carreteras del país, después de la ocurrencia de fenómenos naturales de gran magnitud. Así también se identificarán los factores que intervinieron en la generación de daños.

El trabajo busca por medio de un catálogo y mapas, aportar conocimientos a la ingeniería en cuanto a la construcción vías terrestres sobre los posibles daños que pueden presentarse en la infraestructura carretera del país, a consecuencia de fenómenos naturales.

En el capítulo segundo de este trabajo se hace una descripción y una clasificación breve sobre los fenómenos naturales que se presentan con más frecuencia en México y que afectan de forma significativa a la infraestructura carretera de país, esto con base en información de instituciones gubernamentales enfocada a la prevención de desastres naturales. También en esta parte se realiza una selección de los fenómenos de mayor impacto, que serán tomados en cuenta para el análisis de los daños.

El capítulo tercero menciona la metodología usada para la creación de una base de datos sobre daños en las carreteras del país. Se describe a detalle cada uno de los campos que forman parte de dicha base de datos, así como las consideraciones usadas para la recopilación de información e identificación de los registros de daño. Se mencionan también los tipos de fuentes de información que serán usadas para alimentar la base de datos, así como las características que debe tener la información para ser usada por dicha base.

Posteriormente en el capítulo cuarto se hace una clasificación de los daños que están contenidos en la base de datos. Con base en dicha clasificación se hace una evaluación de estos, por medio de una descripción detallada sobre las afectaciones más frecuentes que se presentaron en las carreteras, esto con base principalmente en evidencia grafica recolectada de las diversas fuentes de información. Junto con la descripción de daños se identificarán los agentes principales que intervinieron en la generación de daños. También se hará un análisis sobre las posibles deficiencias en las carreteras que hayan intervenido en la aparición de las afectaciones.

En el capítulo 5 se hace un trabajo de georreferenciación en donde por medio de mapas se presentará la ubicación de los daños analizados en capítulos anteriores, con el fin de identificar zonas con mayor incidencia en cuanto a aparición de afectaciones. En este apartado también se hace una comparativa entre la ubicación de los daños y mapas de riesgos existentes para diferentes fenómenos naturales y agentes de daños.

Por último, el sexto capítulo contiene las conclusiones de este trabajo en donde se mencionan las ubicaciones de mayor incidencia y los principales factores que influyen en la generación de daños en las carreteras. Se mencionan los tipos y características de las afectaciones que se dieron con más frecuencia en las carreteras analizadas. Se incluyen también observaciones sobre las deficiencias que se tienen durante la construcción y operación de las carreteras, así como recomendaciones sobre normatividad, planeación y construcción de vías terrestres.

2. Eventos analizados

Uno de los primeros pasos para la elaboración del catálogo de daños es determinar y definir el tipo de fenómenos naturales de los cuales se pueden generar daños en la infraestructura carretera del país y con ello comenzar a recabar la información de ciertos eventos en particular. Así también, es importante determinar un rango de tiempo fijo durante el cual se analizarán los posibles registros de daños que existan y que se puedan analizar, georreferenciar y evaluar.

En México se tiene conocimiento de un importante número de desastres naturales que han afectado a la población durante los últimos años. La situación geográfica del país en el mundo hace que una amplia variedad de fenómenos naturales se manifieste en todo el territorio nacional. Algunas zonas del país, debido a sus particulares características geográficas, geológicas o climatológicas, son aún más expuestas a los efectos de dichos fenómenos, lo que al final incrementa el riesgo de que se presenten estragos en la infraestructura de la región. Lo anterior desemboca finalmente en afectaciones a la población en general, a sus bienes y actividades económicas, que de no atenderse a tiempo implicarían grandes costos humanos y económicos.

A pesar de la amplia variedad de fenómenos que ocurren en el país, las instituciones y organismos especializados en desastres naturales han podido realizar una clasificación en grupos de los fenómenos naturales, esto mediante el análisis de diversos parámetros como su origen, características, alcance, zonas de afectación, entre otros.

El país cuenta con el Centro Nacional de Prevención de Desastres el cual fue creado después de la crisis provocada por el terremoto del 19 de septiembre de 1985. Esta institución apoya al Sistema Nacional de Protección Civil mediante la investigación y difusión enfocada a los desastres naturales y sus efectos junto con actividades de instrumentación y capacitación con el objetivo de mitigar y prevenir consecuencias negativas de los fenómenos naturales.

CENAPRED realizó una clasificación básica de los fenómenos naturales con el fin de poder realizar estudios de impacto socioeconómico de los desastres naturales y antrópicos que ocurren año con año. Desde 1999 ha realizado una serie de publicaciones anuales en donde se hace un resumen y análisis de las afectaciones ocurridas en el territorio nacional.

Para el catálogo de daños se usará la información publicada por CENAPRED a través de sus reportes anuales, y así también se hará referencia a la Ley General de Protección Civil en cuanto a la clasificación de los fenómenos naturales que serán analizados. En cuanto a rango de tiempo se tomará en cuenta la disponibilidad de la información detallada respecto a fenómenos naturales; CENAPRED cuenta con información desde el año 1999 con algunas excepciones respecto a algunos eventos registrados desde 1988, por lo que el rango de tiempo que se tomará será de 20 años.

CENAPRED clasifica los fenómenos que pueden causar afectaciones en 5 principales grupos: Hidrometeorológicos, Geológicos, Químicos, Sanitarios y Socio – Organizativos.

Para la elaboración del catálogo se tomarán en cuenta únicamente los dos primeros tipos respectivamente, ya que estos son de origen natural y son los principales generadores de daños en carreteras. A continuación, se describirán estos dos tipos de fenómenos a detalle.

2.1 Fenómenos Hidrometeorológicos

De acuerdo con la Ley General de Protección Civil (2012), los Fenómenos Hidrometeorológicos son aquellos agentes perturbadores que se generan por la acción de los agentes atmosféricos, tales como: ciclones tropicales, lluvias extremas, inundaciones pluviales, fluviales, costeras y lacustres; tormentas de nieve, granizo, polvo y electricidad; heladas; sequías; ondas cálidas y frías; y tornados.

Dentro de los agentes antes mencionados destacan los ciclones tropicales, las lluvias extremas y las inundaciones, debido a que estos generan un porcentaje importante de los daños y de forma más directa. Por ello se hará énfasis en estos fenómenos y sus efectos en la infraestructura carretera.

2.1.1 Ciclones tropicales

Un ciclón es una circulación atmosférica cerrada que se centra en una zona de baja presión, se forma principalmente sobre aguas tropicales y sub tropicales (Fig. 2.1). Se caracteriza por su gran área de impacto y en estas áreas provocan lluvias abundantes, oleaje elevado y vientos intensos (Alva, O; National Weather Service).

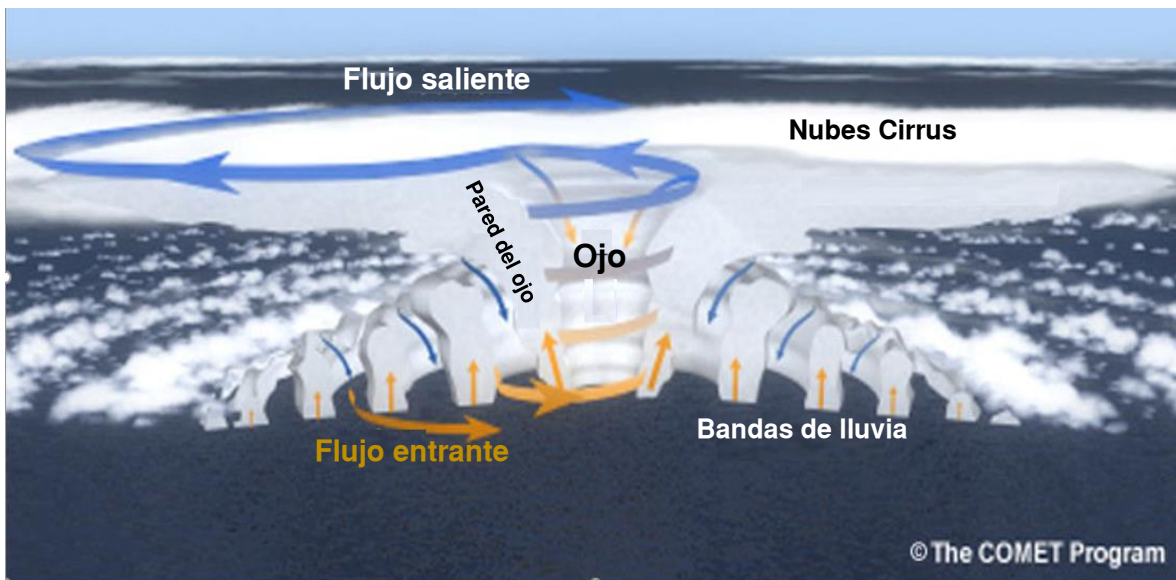


Fig. 2.1. Estructura de un ciclón tropical. (Fuente: goes-r.gov, The COMET Program)

Estos ciclones son clasificados según la intensidad del viento con la escala de Saffir – Simpson desarrollada en 1969 en el Centro Nacional de Huracanes de los Estados Unidos. La escala cuenta con 7 niveles en orden ascendente (Tabla 2.1)

Tabla 2.1. Escala de Saffir – Simpson (The Saffir-Simpson Hurricane Wind Scale NHC-NOAA)

Nivel	Velocidad del viento (km/h)	Marea de Tormenta (m)	Presión central (mbar)
Depresión Tropical	0 - 62	<0.86	>980
Tormenta Tropical	63 - 117	0.86 - 1	>980
Huracán Categoría 1	119 - 153	1.2 - 1.5	980 - 994
Huracán Categoría 2	154 - 177	1.8 - 2.4	965 - 979
Huracán Categoría 3	178 - 208	2.7 - 3.7	945 - 964
Huracán Categoría 4	209 - 251	4.0 - 5.5	920 - 944
Huracán Categoría 5	>252	≥5.5	≤920

2.1.2 Precipitaciones pluviales

La precipitación es toda forma de agua, sólida o líquida, que cae de la atmósfera y alcanza la superficie de la tierra (CENAPRED, 2001). Esta puede presentarse como lluvia, llovizna, nieve, granizo o cellisca, de acuerdo con el tamaño de gota y sus características físicas.

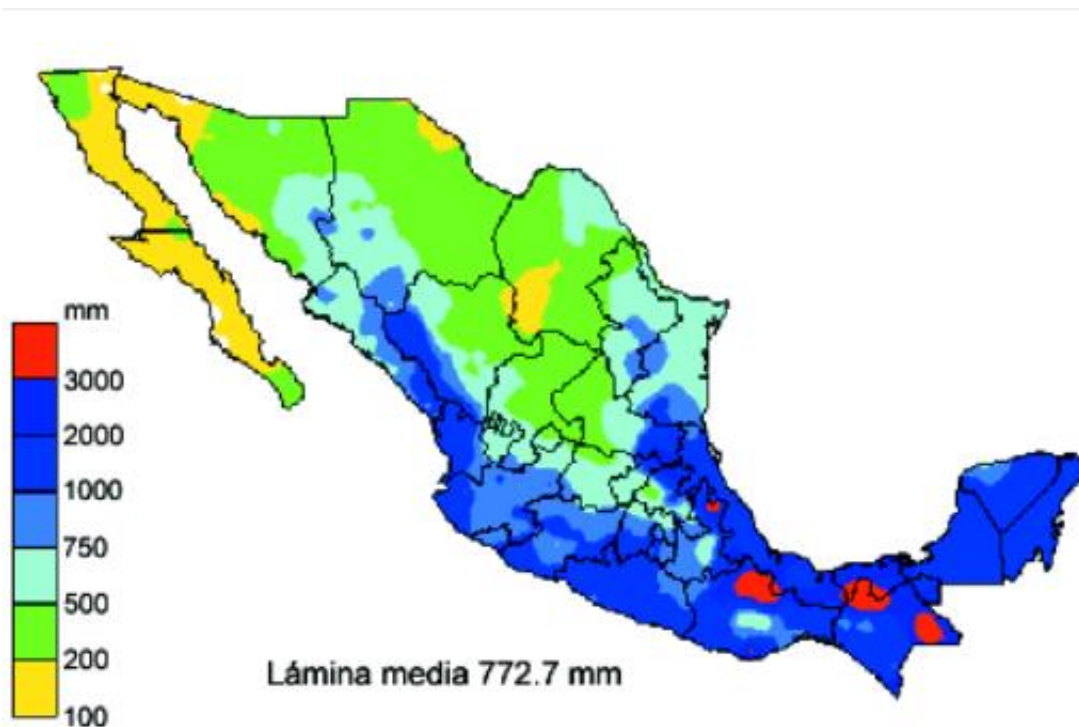


Fig. 2.2. Zonificación de la precipitación media anual (Fuente: Servicio Meteorológico Nacional)

Existen diferentes tipos de precipitaciones dependiendo del factor de ascenso de humedad: ciclónica, donde el ascenso se da por baja presión atmosférica; de onda tropical, originada por la subida de una masa de aire caliente sobre una de aire frío; orográfica, en donde las montañas desvían el aire hacia arriba; y la convectiva, donde el aire caliente asciende por convección al ser más liviano.

2.1.3 Inundaciones

Una inundación ocurre cuando el agua cubre una zona del terreno durante un cierto tiempo y los daños se incrementan conforme mayor es el volumen y tiempo de permanencia del agua

(CENAPRED, 2001). Se puede originar por las lluvias en la región, desbordamiento de ríos, ascenso del nivel del mar, ruptura de bordes, diques o presas; así como descargas de agua de embalses (Fig. 2.3).



Fig. 2.3. Inundaciones en Tabasco 2007. (Fuente: campechehoy.mx)

Las inundaciones se presentan cuando el suelo y la vegetación no pueden absorber el agua que llega al lugar y escurre lentamente, por general forman capas de más de 25cm pudiendo llegar a varios metros. Esta situación está también condicionada por otros factores como la topografía, las características físicas de los arroyos, usos de suelo, vegetación, entre otros.

Se ha observado que los agentes mencionados anteriormente están relacionados entre sí, ya que las precipitaciones ciclónicas y las inundaciones causadas por dichas precipitaciones son parte de los efectos de un ciclón tropical. Así también la marea de tormenta y el oleaje forman parte de este tipo de fenómenos que tienen este mismo origen.

Cada año el territorio nacional se ve afectado por fenómenos hidrometeorológicos importantes, esto debido en mayor parte a que el país cuenta con un litoral muy extenso y se encuentra ubicado entre dos zonas importantes de generación de ciclones tropicales (Atlántico Norte y el Pacífico) junto con una orografía accidentada; dicha situación hace altamente vulnerable al país a este tipo de fenómenos y a sus efectos. Durante los últimos 70 años hay algunos eventos de este tipo que han destacado por su magnitud, alcance e impacto socioeconómico.

Entre los desastres más importantes destacan los provocados por los huracanes: Odile (2014), Manuel (2013) Wilma (2005), Paulina (1997) y Gilberto (1988). Así también figuran las lluvias extremas y las inundaciones provocadas por ondas, depresiones y tormentas tropicales, tales como las ocurridas en los estados de Veracruz, Puebla e Hidalgo de 1999 y las inundaciones en Tabasco de 2007.

2.2 Fenómenos Geológicos

Los fenómenos Geológicos son aquellos en los que intervienen la dinámica y los materiales del interior o de la superficie de la tierra. El CENAPRED contempla dentro de este grupo a los eventos de sismicidad, vulcanismo, tsunamis y movimientos de laderas o cerros. Para el caso de afectaciones en la infraestructura carretera se tomará en cuenta a la sismicidad y los movimientos de cerros y laderas.

La sismicidad, junto con el vulcanismo, son originados por la interacción de las placas tectónicas, así como de las altas temperaturas y la movilidad de los materiales de las capas interiores del planeta. Los tsunamis están relacionados directamente con la sismicidad y estas se originan de terremotos cuyo epicentro se encuentra mar adentro por lo que son menos frecuentes. Por su parte los movimientos de laderas o suelos se deben principalmente a la acción de intemperismo en conjunto con la fuerza de gravedad que generan, movilizaciones masivas de rocas o sedimentos en pendientes pronunciadas, así también estos movimientos tienen origen en eventos sísmicos. En este apartado también se incluyen los hundimientos y agrietamientos locales y regionales causados por la extracción de agua del subsuelo

2.2.1 Sismicidad

Es uno de los fenómenos que tienen su origen en la dinámica interna de la tierra que ha estado presente en la historia geológica de la tierra. Dichos fenómenos no pueden predecirse ni tampoco se puede conocerse su magnitud antes de que ocurra. Su ocurrencia se da en regiones definidas con estimaciones de magnitudes máximas (CENAPRED, 2004).



Fig. 2.4. Placas tectónicas que interactúan en el territorio mexicano (Fuente: Servicio Sismológico Nacional)

El país se encuentra asociado al Cinturón de Fuego, en el cual se genera el 80% de la sismicidad mundial y de forma más específica, el territorio se encuentra localizado entre cinco placas tectónicas que interactúan entre sí (Fig. 2.4). Es en los límites donde se encuentran las zonas de contacto las cuales generan grandes esfuerzos. Cuando los esfuerzos

superan la resistencia de la roca se tienen rupturas violentas que liberan grandes cantidades de energía, la cual se irradia por medio de ondas sísmicas al interior del país.

La mayor parte de los grandes terremotos ocurridos en México han tenido sus epicentros frente a las costas de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas; aunque también se han registrado algunos epicentros dentro la zona continental.

La medición de los sismos se hace respecto a su magnitud o a su intensidad. Para la magnitud se tiene a la escala de Richter la cual es una medida logarítmica de la cantidad de energía que libera un sismo. En cuanto a la intensidad se usa la escala de Mercalli la cual en 12 diferentes grados mide los efectos causados “en el hombre, en sus construcciones y, en general, en el terreno natural”.

2.2.2 Deslizamiento de laderas

El deslizamiento de laderas se puede referir al movimiento de una masa de roca, tierra o detritos pendiente abajo (CENAPRED 1999). Este ocurre cuando se pierde o rompe el equilibrio de una porción de los materiales que componen una ladera y se deslizan ladera abajo por acción de la gravedad. Resultan de una falla por corte a lo largo de la masa en movimiento respecto a una masa estable (CENAPRED, 2004) (Fig. 2.5).

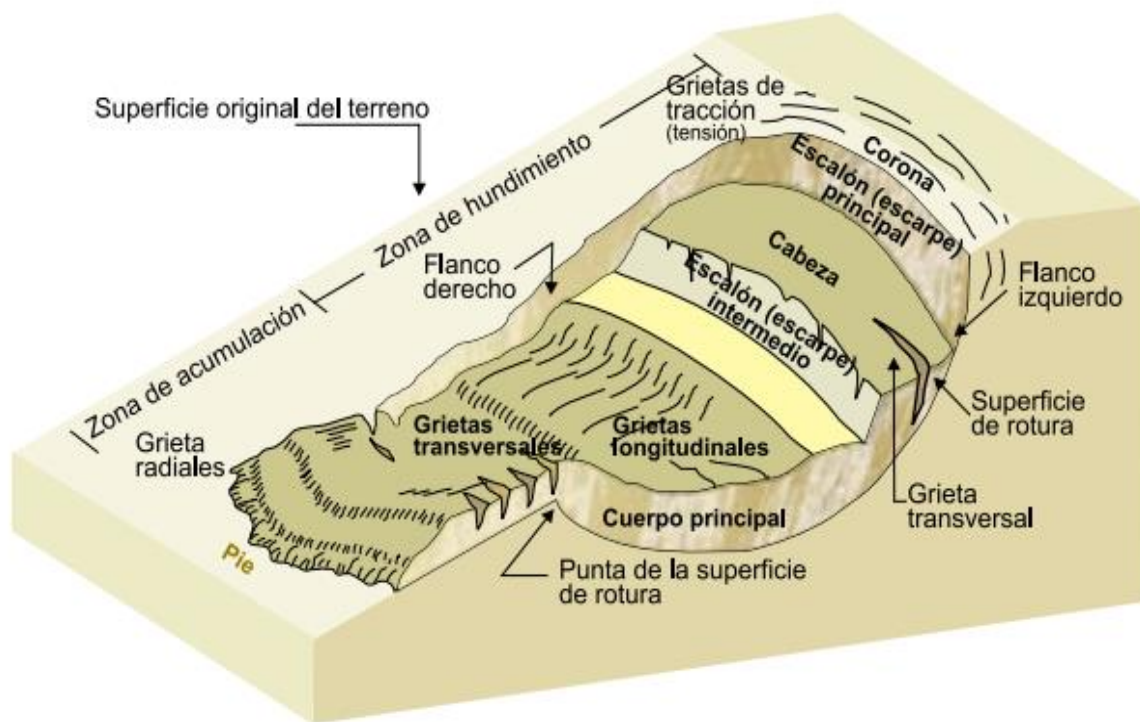


Fig. 2.5. Nomenclatura de un deslizamiento (Fuente: CENAPRED)

Existen tres tipos de deslizamientos:

- a. Caídos o derrumbes: Son movimientos abruptos de suelos y fragmentos aislados de rocas que se originan en pendientes fuertes y acantilados. Pueden ser desprendimientos de suelos o vuelcos compuestos de bloques rocosos

- b. Deslizamientos: Son movimientos de masa de materiales terreo pendiente abajo. Estas a su vez pueden ser rotacionales o traslacionales
- c. Flujos: son movimientos de suelos en donde las partículas tienen movimientos relativos dentro de la masa que se mueve. Se presentan como flujos de lodo, flujos de tierra, flujos de detritos, flujo muy lento (creep) o lahares.

Al igual que los sismos o las inundaciones, los deslizamientos no se pueden predecir con facilidad y en varios estados de la República Mexicana existen poblaciones que están expuestos a estos fenómenos por las características topográficas de entorno.

Existen otros factores desestabilizadores que, junto con las características de los materiales de los que se compone la ladera, pueden provocar un deslizamiento. Estos suelen ser lluvias intensas, sismicidad y vulcanismo. Los deslizamientos pueden también ocurrir en terraplenes o cortes de carreteras, minas, cañadas, barrancas y vasos de presas por mencionar algunos ejemplos.

Los efectos de los fenómenos geológicos en las carreteras del país son muy frecuentes, especialmente en el caso de los deslizamientos, los cuales se presentan con mayor frecuencia durante la ocurrencia de algún fenómeno hidrometeorológico y en menor medida a eventos como sismos, vulcanismo o características geológicas. Es por ello que resulta importante identificar y analizar los puntos más vulnerables dentro del territorio y además considerar los posibles daños que se puedan generar a causa de estos fenómenos.

3. Base de datos sobre daños

Una vez identificados y seleccionados los tipos de fenómenos naturales generadores de daños, así como el rango de tiempo de análisis, es posible comenzar el proceso de recolección de registros sobre daños en infraestructura carretera. Para ello es necesario crear un listado que permita poder almacenar información acerca de estos registros de forma sencilla y sintetizada, pero a la vez lo suficientemente descriptiva para que se tenga la información necesaria para identificar y localizar las afectaciones.

Es por ello que para la realización del catálogo en particular se creará una base de datos en una hoja de cálculo, la cual contendrá información referente a descripción general de la infraestructura afectada, así como los daños que presentaron por la ocurrencia de diversos tipos de fenómenos naturales. Lo anterior estará basado en material gráfico en donde sea posible observar a detalle los daños en los elementos del pavimento o de la infraestructura relacionada, como puentes, obras de drenaje, cimentación y cortes. Con esto también será posible realizar una evaluación de daños a detalle para poder clasificar e identificar los diferentes tipos de daños, así como sus posibles causas.

Esta hoja de cálculo también servirá posteriormente como base de datos de donde se alimentará un software especializado en sistemas de información geográfica (SIG) en el cual se podrá visualizar la información de las afectaciones en un mapa de la república mexicana con su respectiva simbología.

3.1 Fuentes y captura de registros de daños

En la etapa inicial fue necesario recopilar la información necesaria referente a desastres naturales de origen hidrometeorológico y geológico ocurridos desde el año 1997 hasta 2016. Para ello se realizaron consultas en informes gubernamentales, artículos de prensa, así como publicaciones académicas que proporcionaran información detallada sobre afectaciones en infraestructura carretera, siendo el material gráfico el de mayor importancia, ya que este será el principal apoyo para la realización de la descripción y evaluación de daños.

Dentro de las fuentes consultadas resaltan una serie de publicaciones realizadas por el Centro Nacional de Prevención de Desastres, en donde se documenta el impacto socioeconómico de los desastres naturales en el país año con año desde 1999. Dichas publicaciones contienen un informe detallado sobre las diversas afectaciones que fueron resultado de la ocurrencia de fenómenos naturales en diversos sectores como el sector social, de educación, actividades económicas, infraestructura, entre otros. Los informes vienen acompañados de fotografías, las cuales son evidencia gráfica de los daños, así como una breve descripción generalizada de estos. Así también, los informes dan ciertas referencias en cuanto a la ubicación de los daños, en algunos casos exacta y en otros de forma muy general.

Otra fuente que merece mención es el material proporcionado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM por medio del Dr. Eduardo Reinoso Angulo, investigador titular en el área de ingeniería sísmológica y evaluación de riesgos naturales. El Dr. Reinoso y su equipo han

realizado una labor de investigación enfocada a la determinación de riesgos naturales y de los efectos de los fenómenos naturales en diferentes tipos de estructuras a nivel nacional. En sus investigaciones han realizado visitas técnicas a zonas afectadas después de la ocurrencia de fenómenos naturales de alto impacto, como lo son los ciclones tropicales, sismos e inundaciones. En estas visitas se ha recopilado información detallada de los daños con fotografías y ubicaciones precisas de las estructuras dañadas, en las cuales están incluidas las que pertenecen al sector carretero. Para este trabajo fue facilitada la información respecto a los efectos en la zona de afectación de los huracanes “Wilma” (2005), “Manuel” (2013) y “Odile” (2014) los cuales destacan por su importante nivel de impacto en general.

Con la información ya recabada se creó un listado en el cual se almacenó la descripción de las afectaciones, así como de las características generales de la infraestructura involucrada para cada uno de los registros de daños, a los cuales les fue aplicado un esquema de etiquetado para identificarlos con facilidad. Se crearon una serie de diferentes columnas divididas en dos secciones dentro del listado para con ello organizar la información de forma estructurada, de modo tal que se tuviera un formato unificado que permita la agilización en la captura de los diferentes datos provenientes de las fuentes. Cabe mencionar que este formato está inspirado por bases de datos desarrolladas previamente por el equipo del Dr. Eduardo Reinoso Angulo para la evaluación de daños en estructuras.

3.2 Descripción general

Esta sección contiene los datos referentes a las características generales de la infraestructura afectada tales como el nombre del tramo o la estructura, ubicación, administración, clasificación técnica y tipos de pavimento.

3.2.1 NUM – ID:

Estas dos columnas forman parte del esquema de etiquetado de los registros; dicho esquema permite identificar rápidamente a cada uno de los elementos con un código único, el cual brinda información acerca del agente de daño y el tipo de elemento dañado.

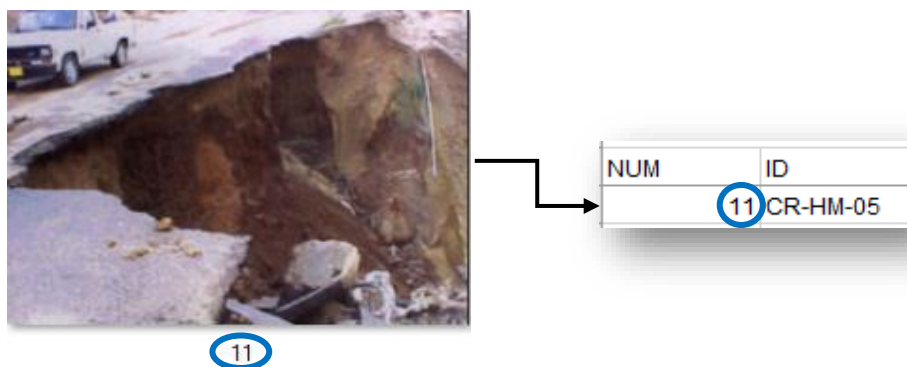


Fig. 3.1. Numero de imagen del registro

En la columna NUM se relacionan los registros con la evidencia grafica de los daños con un número, el cual corresponde al de imagen que le corresponde a cada elemento; cada archivo de imagen estará identificado con un número diferente en orden ascendente (Fig. 3.1). En el

caso de la columna ID, se tiene una clave asignada a cada registro con una nomenclatura que lo identifica, esto con base en el agente de daño y el tipo de estructura dañada (Tabla 3.1).

Tabla 3.1: Nomenclatura de clave

CR	—	HM	—	01
Tipo de elemento		Tipo de fenómeno		Número
CR: Carretera		HM: Hidrometeorológico		
PT: Puente		GE: Geológico		
TN: Túnel				

3.2.2 Ubicación (X, Y, ESTADO, MUNICIPIO):

Este grupo de columnas contiene la información sobre la localización en donde se presentó la afectación. Cada uno de los registros están georreferenciados en coordenadas X, Y en formato decimal, usando el sistema de coordenadas WGS84. La ubicación se obtuvo mediante la información proporcionada por las fuentes mencionadas anteriormente en donde, en algunos casos, se daba indicios acerca de los tramos o los puntos kilométricos donde hubo daños; en otros solo se indicaba el nombre de la estructura o el tramo sin mucha precisión.

Para conocer la ubicación exacta de los registros se usaron diversas herramientas de localización y navegación, así como de mapas oficiales y cartas topográficas para que, con la información disponible, fuera posible conocer las coordenadas geográficas de cada daño. La plataforma principal que se usó fue la que ofrece el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) por medio del Mapa Digital de México V6.3.0 (Fig. 3.2). Este mapa en línea ofrece la posibilidad de visualizar la Red Nacional de Caminos junto con capas de información sobre postes de referencia, divisiones político-administrativas, nombres de vialidades, cuerpos y corrientes de agua, localidades cercanas y topografía.

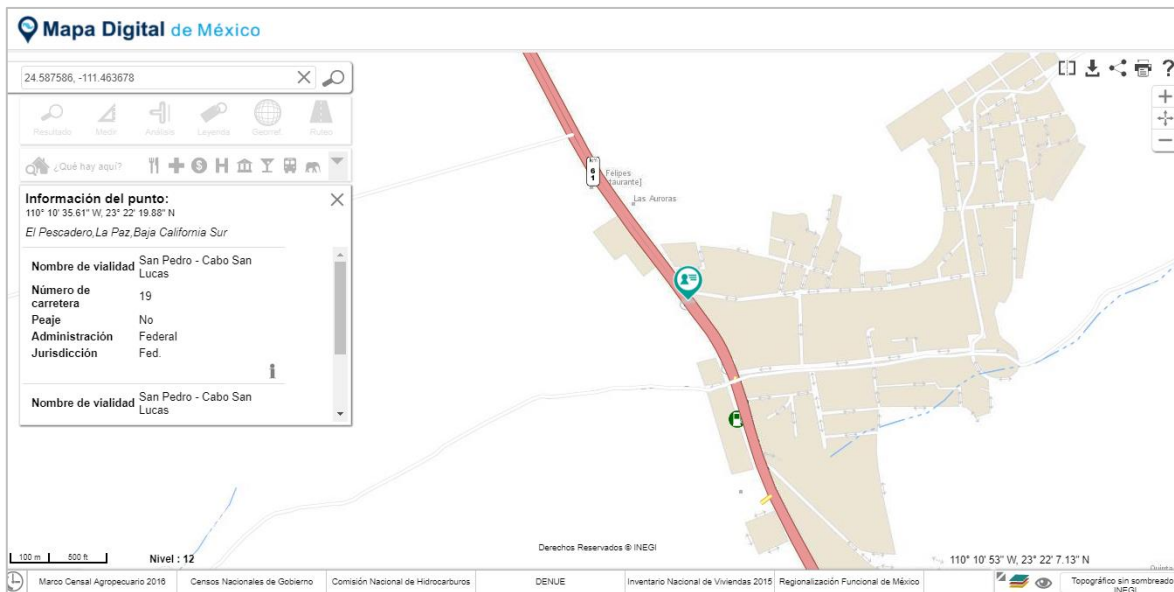


Fig. 3.2. Extracto de Mapa Digital de México V6.3.0. (Fuente: INEGI 2017)

En los casos en donde no se daban referencias concretas sobre la localización de daños, se usó la plataforma “Google Earth” en donde, por medio de vistas 3D (Fig. 3.3) y de vista a nivel de calle con la herramienta “StreetView” (Fig. 3.4), se pudieron identificar ciertas estructuras dañadas y tramos que resultaron afectados.



Fig. 3.3. Vista 3D en la plataforma “Google Earth” (Fuente: Google Earth 2017)



Fig. 3.4. Vista a nivel de terreno “Street View” (Fuente: Google Street View 2017)

Combinando el uso de ambas herramientas fue posible obtener los datos de coordenadas geográficas, junto con el estado y el municipio donde se ubica el registro (Fig. 3.5)

NUM	ID	Y	X	ESTADO	MUNICIPIO
10	PT-HM-06	22.961791	-109.801737	BAJA CALIFORNIA SUR	LOS CABOS

Fig. 3.5. Ubicación de registro

3.2.3 Clasificación de la carretera (ADMINISTRACIÓN, TIPO)

En este apartado se indica la clasificación de la carretera en donde se produjo el daño, o en su caso, en donde se encuentra la estructura afectada. Se tomaron en cuenta la clasificación administrativa (financiamiento) y la clasificación técnica oficial. Para la clasificación administrativa se usaron las capas de información de la Red Nacional de Caminos en el Mapa Digital de México para poder identificar el tipo de carretera en la localización del registro, siendo los principales los de administración federal, estatal y municipal.

En cuanto a la clasificación técnica oficial, se consultó el aviso publicado el 12 de junio de 2015 en el Diario Oficial de la Federación, por el cual se modifica la clasificación de carreteras en el país (Tabla 3.2). Junto con este aviso, se publica una tabla en donde aparecen los tramos y los números de ruta de administración federal con su respectiva clasificación técnica. En el caso de algunas carreteras estatales no estaba disponible su clasificación, por lo que este dato se omitió en los registros correspondientes.

Tabla 3.2. Clasificación Técnica de Carreteras

Tipos de Carreteras (Clasificación Técnica):	- A	- B	- C	- ET
	- A2	- B2	- D	- ET2
	- A4	- B4		- ET4

3.2.4 Información sobre el tramo (NUM CARRETERA, NOMBRE VIALIDAD, KM, TIPO DE PAVIMENTO)

Las columnas en este grupo indican el nombre del tramo junto con el número de ruta de la que forma parte el tramo. Así también se muestra el punto kilométrico en el que está localizado el registro y el tipo de pavimento con el cual está conformado el tramo (Fig. 3.6). En algunos casos, debido a las pocas referencias geográficas no fue posible identificar el punto kilométrico, por lo que en dichos casos se omitió el dato.

NUM	ID	NUM-CARRETERA	NOMBRE DE VIALIDAD	KM	TIPO DE PAVIMENTO
49	PT-HM-20	1	LORETO - SANTA ROSALIA	192+000	FLEXIBLE

Fig. 3.6. Información sobre el tramo

3.3 Descripción de Daños

En esta sección se almacenan los datos referentes a la caracterización de los daños que presentaron las carreteras y las estructuras involucradas. Junto con esta descripción también se añaden datos sobre los agentes generadores, así como el nivel de afectación que se tuvo durante la ocurrencia de un fenómeno natural.

3.3.1 Tipo de daño

En esta columna se hace una clasificación de los daños en diferentes grupos, los cuales se definieron tomando en cuenta las características particulares que tenían los daños y que además dichas características se repetían en las evidencias graficas recolectadas. Se identificaron de forma preliminar diferentes tipos de daños que aparecen en la Tabla 3.3, los cuales se describirán más a detalle en el capítulo siguiente de este trabajo.

Tabla 3.3. Tipos de daño preliminares identificados

TIPOS DE DAÑO IDENTIFICADOS		
- Agrietamiento	- Derrumbe	- Por Inundación
- Azolve	- Deslave	- Seccionamiento
- Colapso de puente	- Erosión Hídrica	- Por Socavón

3.3.2 Nivel de daño

Indica de forma cualitativa el nivel de afectación del registro mediante la observación de los daños en evidencias gráficas, así como del estado operativo después de la ocurrencia del daño. Los niveles de daño son: Bajo, Medio, Grave y Colapso total (Fig. 3.5).



Fig. 3.5. Niveles de daño: Izquierda: “Bajo”; Derecha: “Grave” (Fuente: diariotiempo.mx; ejecentral.com.mx)

3.3.3 Agente de daño

En esta columna se indica el agente de daño predominante que generó los daños en el camino o la estructura asociada. Los agentes son los efectos derivados de la ocurrencia de un fenómeno natural que son la causa directa de la aparición del daño (Fig. 3.6).

En el caso de los fenómenos hidrometeorológicos los principales agentes de daños son: precipitaciones, corrientes de agua, vientos, oleaje y marea de tormenta. Dentro de los

fenómenos geológicos se tienen a los sismos, deslizamientos de tierra y caídos provocados por actividad de fallas geológicas.



Fig. 3.6. Agentes de daño: a) Precipitación, b) Corriente de agua, c) Sismo, d) Deslizamiento de tierra. (Fuentes: archivo.eluniversal.com.mx; colimanoticias.com; lasintesis.mx)

3.3.4 Observaciones

En este último campo se describen brevemente los detalles y algunas particularidades de las afectaciones en el camino, esto con base en la evidencia gráfica o de las fuentes mencionadas anteriormente en el punto 3.1. Estas observaciones son breves, precisas y redactadas de forma conceptual para evitar descripciones demasiado extensas.

4. Evaluación de daños y catálogo

En este capítulo, se hará una descripción y un análisis detallado de los daños más representativos recopilados y almacenados en la base de datos, con el apoyo de evidencia gráfica la cual estará etiquetada con su respectiva clave. Con este análisis se definirán las características de las afectaciones más recurrentes y con ello se realizará una clasificación de estas, así también se determinarán los principales agentes de daño que intervinieron en la generación de las afectaciones en la infraestructura carretera, conformando de esta manera el catálogo de daños.

4.1 Clasificación de daños

A pesar de la variedad de daños de los que se obtuvo información, existen algunas particularidades que se presentaban constantemente en los registros, principalmente referidos al tipo de falla del pavimento y su cimentación junto con las estructuras anexas. Para la clasificación de daños en los caminos se usaron como parámetro estas particularidades, con lo que se pudieron establecer los diferentes tipos de daños (Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Tipos de daño identificados

TIPOS DE DAÑO IDENTIFICADOS		
- Por Agrietamiento	- Derrumbe	- Por Inundación
- Por Azolve	- Deslave	- Seccionamiento
- Por Colapso de puente	- Por Erosión Hídrica	- Socavón

Con esta clasificación se hará la descripción detallada de los daños para cada uno de los tipos, usando las imágenes recopiladas anteriormente. En cada uno de los tipos de daño también se analizarán los agentes involucrados en la generación del daño.

4.2 Daños por agrietamiento

Este tipo de daño se caracteriza por la aparición de grietas en la carpeta asfáltica que pueden extenderse hasta las capas inferiores que forman la estructura del pavimento (Fig. 4.1).

A diferencia de las grietas generadas por el deterioro de la carpeta asfáltica, las que se presentan después de un desastre natural son de tamaño considerable, las cuales generan discontinuidades en la superficie de rodamiento, así como pérdida de capacidad de carga. Dicha situación hace que la carretera pierda su capacidad operativa y por ende no permite la circulación de los vehículos.



Fig. 4.1. Daño por agrietamiento en pavimento flexible. Fuente: CENAPRED

Los agrietamientos se forman debido a la inestabilidad o falla de los terraplenes que sostienen la estructura del pavimento sin llegar al colapso total. Los principales agentes que intervienen en la generación de los daños por agrietamiento son los sismos. Durante la ocurrencia de un sismo considerable, el movimiento de la superficie terrestre genera deformaciones importantes en la cimentación y la estructura del pavimento, lo que finalmente provoca que dichos elementos fallen y generen grietas en la superficie de rodamiento, dichas grietas son longitudinales y de extensión importante las cuales pueden generar también asentamientos (Fig. 4.2).



Fig. 4.2. Agrietamientos en estructura del pavimento. Fuente: Televisa News (noticieros.televisa.com)

En la base de datos se cuenta con tres registros de daños por agrietamiento que se ubican en los estados de Baja California y Colima, los cuales se encuentran dentro de zonas con alta actividad sísmica.

Los dos primeros registros se tienen en el valle de Mexicali, muy cercanos a la Central Geotermoeléctrica Cerro Prieto (Fig. 4.3). Los daños se presentaron a consecuencia de un sismo de 7.2 en la escala de Richter el 4 de abril de 2010.

En ellos se observan los agrietamientos de la carpeta asfáltica y la estructura del pavimento llegando hasta nivel de terraplén, por lo que es visible de forma clara la deformación originada por el movimiento telúrico, así como asentamientos y desviación del eje de proyecto.

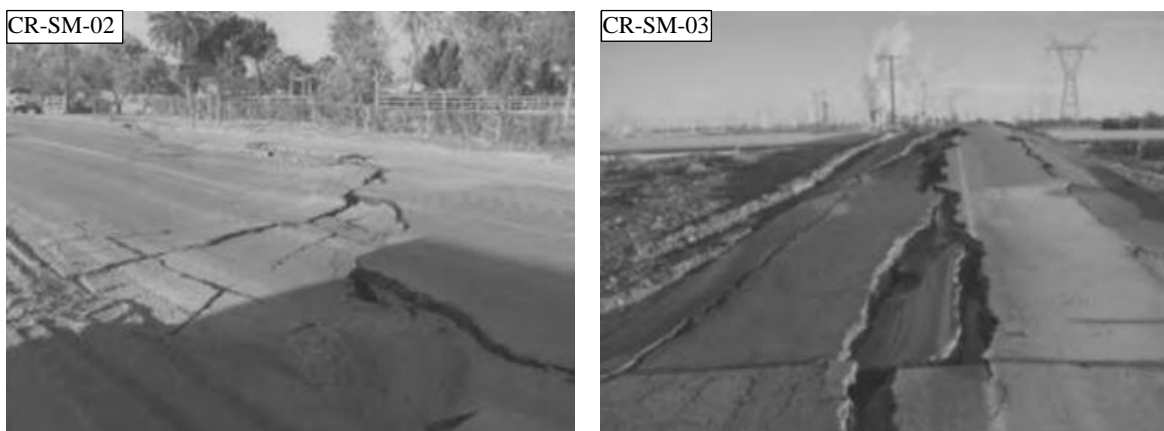


Fig. 4.3. Daños por agrietamiento

4.3 Daños por azolve

Otro tipo de afectaciones que se encuentran en la base de datos de daños en carreteras es la acumulación de azolves en la superficie de rodamiento y en las obras de drenaje. El azolve es producto de la acumulación de sedimentos en las partes en donde no existe un adecuado drenaje o en zona de vados.

Estos daños son provocados principalmente por efectos de fenómenos hidrometeorológicos como lluvias, inundaciones y escurrimientos torrenciales de agua, siendo estos últimos los principales agentes de daño. Durante una lluvia torrencial se generan flujos de agua con gran arrastre de sedimentos, rocas y materia vegetal.

En los casos menos graves, los azolves se presentan en las obras de drenaje como cunetas, lavaderos, alcantarillas y bóvedas (Fig. 4.4 inciso a). La existencia de azolve provoca que estas estructuras reduzcan su capacidad hidráulica, por lo que es sumamente importante realizar acciones para retirar el material. De lo contrario, durante una lluvia o avenida extraordinaria, se corre un mayor riesgo de que se tenga una anegación de la superficie de rodamiento, así como posibles daños en la estructura del pavimento por ingreso de agua.

Estos tipos de azolves ocurren con mayor frecuencia debido a los malos programas de conservación que existen en algunas de las carreteras del país. Para los tres registros que se tienen en la base de datos, los azolves se presentaron en vados en donde la validad atraviesa por zonas de corrientes efímeras.



Fig. 4.4 Azolves en carreteras

Dichos azolves fueron de proporciones importantes ya que, además de obstruir las obras de drenaje, bloquearon la circulación del camino debido al espesor de los sedimentos (Fig. 4.4 inciso b). Los azolves de este tipo son menos frecuentes debido a que existen ciertos parámetros geológicos e hidrológicos específicos para que se presenten espesores de sedimentos de este tipo

Entre los registros mencionados destaca el identificado con la clave CR-HM-07, localizado en el municipio de Tenango del Valle, Estado de México (Fig.4.5). En este caso, durante una lluvia torrencial que se presentó el 2 de mayo de 2004, el arroyo “El Zaguán” tuvo una avenida con un alto arrastre de sedimentos provenientes del fondo del cauce y de la erosión del terreno circundante. Esta avenida alcanzo a un tramo de la carretera estatal Toluca - Ixtapan de la Sal, en donde se tuvo un azolve con un espesor de sedimento superior a 1 m, bloqueando por completo la vialidad.



Fig. 4.5. Limpieza de vado afectado por azolve

Las características geológicas de la región, con alta presencia de lapilli pumítico no consolidado, aunado con las características de la cuenca hidrológica provocaron los altos volúmenes de sedimento de acuerdo con información emitida por CENAPRED en su evaluación de impacto socioeconómico.

4.4 Daños por colapso de puentes

Durante y después de un desastre natural, uno de los problemas que se presenta con mayor frecuencia es el colapso por socavación de los puentes que forman parte de las carreteras del país. Este tipo de problemas generan graves consecuencias durante situaciones de emergencia, ya que el colapso o daños de un puente implica el cierre total del tramo carretero y con ello se interrumpe la comunicación con los centros de población afectados, cuando esta comunicación es crítica en la atención de emergencias (Fig. 4.6). Así también, este tipo de afectaciones representan un porcentaje importante dentro de los costos de rehabilitación y reconstrucción de la infraestructura carretera.



Fig. 4.6. Colapso de puente por falla en apoyos

Con lo anterior mencionado, es evidente que los puentes son elementos críticos dentro del proyecto de una vía de comunicación, sobre todo en caminos de primer nivel como lo es un eje troncal, la falla de estos representa graves costos principalmente a nivel usuario, ya que la interrupción de la comunicación entre grandes centros de población genera consecuencias indirectas de tipo económico y social de consideración.

Los puentes tienen un nivel de vulnerabilidad considerable ante a los efectos de un fenómeno natural extraordinario, debido a que son estructuras que se erigen para atravesar vialidades existentes y principalmente áreas de topografía accidentada como cadenas montañosas, zonas de cañadas y barrancos, así también como cuerpos de agua tales como ríos, arroyos o áreas

pantanosas. Muchas de estas estructuras están cimentadas en lugares de geología poco favorable, así como en zonas hidrológicas con grandes escurrimientos, siendo así que en dichos lugares los efectos de fenómenos naturales son de mayor impacto.

En los registros que se recopilaron para la base de datos, son 9 los elementos que muestran los daños por colapso de puentes. Dentro de estos elementos 6 se presentaron en carreteras de administración federal de importancia media-alta. En estos daños se detectaron dos situaciones recurrentes que propiciaron los colapsos tanto de forma total y parcial.

La primera situación detectada fue que los daños se dieron en los enfoques de los puentes, compuestos principalmente de terraplenes de acceso junto con conos de derrame y terraplenes reforzados, siendo la afectación principal el colapso o arrastre de estos elementos. En dichos casos, el daño se produjo debido a la saturación y deslave de los taludes de dichos terraplenes, así como de erosiones y arrastres masivos de material, provocando un seccionamiento entre la estructura del puente y el tramo carretero (Fig. 4.7).



Fig. 4.7. Colapso del terraplén de acceso al puente. Fuente: CENAPRED

En ocasiones, a pesar del colapso del enfoque, la estructura de puente no se ve gravemente comprometida en los estribos y en los apoyos intermedios, siendo un escenario relativamente común el ver al puente aislado de pie en medio del cauce. Estas situaciones pueden considerarse como un colapso parcial pero que aun así implican un corte total a la circulación en la vialidad debido a que el puente pierde su capacidad operativa (Fig. 4.8).

En la segunda situación, el nivel de daño es más grave, ya que implica el colapso de la estructura del puente, también a veces acompañado del colapso de los enfoques. La falla de la estructura se da comúnmente en los apoyos principales del puente como pilas y columnas, de forma más específica en la cimentación.



Fig. 4.8. Colapso parcial del terraplén de acceso al puente. Fuente: CENAPRED

La razón principal de la falla de la cimentación se da por el fenómeno de socavación, el cual consiste en la degradación del fondo de un cauce, así como de la remoción de materiales del fondo por la acción de un flujo de agua (Aguado, A., 2012) (Fig. 4.9).

Al ocurrir la socavación, el suelo pierde capacidad de carga y por ello los apoyos del puente no transmiten adecuadamente las cargas al sistema suelo, resultando en asentamientos de los elementos de apoyo o el colapso de dicho elemento, dañando o seccionando consecuentemente la superficie de rodamiento, teniendo como resultado final el corte a la circulación.

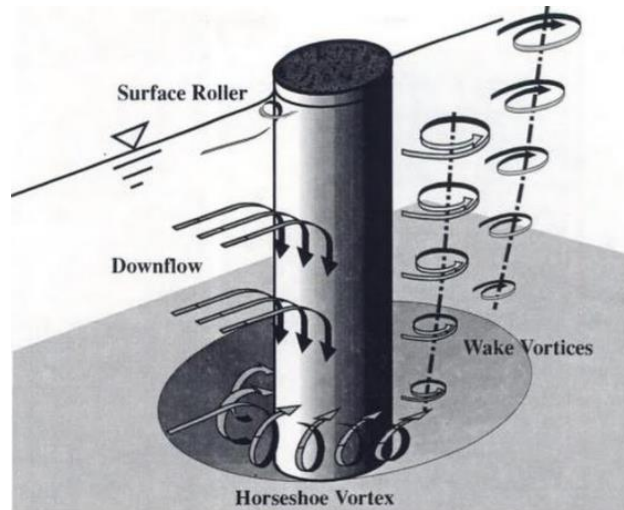


Fig. 4.9. Fenómeno de socavación local en una pila circular. Fuente: Melville, B. & Coleman S. "Bridge Scour"

En conjunto con la socavación, el arrastre de sedimento de una fuerte corriente de agua también contribuye a la falla de los apoyos de un puente, ya que el aumento de nivel del cauce puede sobrepasar el nivel de la corona. En esta situación la corriente puede fracturar dichos apoyos debido a la enorme cantidad de material que es arrastrado, el enorme volumen

de sedimentos genera empujes horizontales los cuales pueden generar esfuerzos mayores a los que la estructura puede resistir o para los cuales no pudiese estar diseñado.

Uno de los casos más graves de este tipo de daños se tiene en el registro PT-HM-22 que se muestra en la Fig. 4.10. Este registro corresponde al colapso del puente Tonalá, ubicado en la carretera Coatzacoalcos – Villahermosa en el límite entre los estados de Veracruz y Tabasco. Debido a las fuertes lluvias, se presentó una crecida del río Tonalá que provocó la socavación de la cimentación de dos pilas del puente, lo que derivó en su colapso. Desafortunadamente se tuvieron 7 víctimas mortales las cuales circulaban por el puente al momento de la falla.



Fig. 4.10. Colapso del puente Tonalá

En todos los registros mencionados anteriormente, el principal agente de daño son las corrientes de agua que pasan por los cauces donde están construidos los puentes. Las precipitaciones torrenciales generan un aumento del volumen de agua que corre por dichos cauces acompañados de sedimentos y materia orgánica (Fig.4.11).

Esta corriente afecta a los apoyos generando socavación de los cimientos y empujes horizontales, pero también tiene efectos de erosión y entrada de agua a los taludes de los aproches del puente provocando que estos también fallen.

Otra situación que se detectó no tiene que ver directamente con alguna afectación con la carretera, pero si en la integridad estructural del puente, el cual es el caso los agrietamientos presentados en elementos estructurales de los puentes (Fig. 4.12).



Fig. 4.11. Daños en puente Tequisistlán, Oaxaca por corriente de agua. Fuente: nvinoticias.com



Fig. 4.12. Agrietamiento en columna de puente

En los casos de este tipo, las grietas se tienen debido al movimiento de la estructura o por la acción de esfuerzos mayores a la capacidad de diseño del elemento.

Los principales agentes que intervienen en la generación de daños en esta situación son los sismos. Estos fenómenos generan esfuerzos que sobrepasan la capacidad de estructural de los elementos de apoyo como pilas, caballetes, traveses, elementos de fijación y juntas, así como los accesos de acceso a los puentes. Es en las juntas de la superficie de rodamiento y en las columnas donde se encuentran con más frecuencia los agrietamientos por el desplazamiento de losas.

Así también los puentes presentan daños en sus topes antisísmicos, los cuales fallan por efecto de los desplazamientos horizontales de la estructura del puente (Fig. 4.13). La estructura mostrada en la Fig. 4.13 ubicada en el municipio de Tecomán, Colima no sufrió mayores daños en columnas y traveses, siendo los topes antisísmicos los únicos elementos afectados.



Fig. 4.13. Falla de topes antisísmicos

4.5 Daños por derrumbes

Este tipo de daños consiste básicamente en caídos de material en la superficie de rodamiento proveniente de cortes y taludes adyacentes a una vialidad. Este grupo suele confundirse con los deslaves, pero existen ciertos aspectos en los derrumbes los cuales hacen posible la diferenciación.

La característica principal que se observó fue que el material del deslizamiento no se encontraba saturado y tampoco se tuvo presencia de agua que haya propiciado la caída del material. Así también el volumen de material colapsado es menor al que se tiene en un deslave siendo principalmente rocas de gran tamaño, además de que el agente principal de daño son los sismos.

Otra característica es que los derrumbes se dan en tramos largos de la carretera afectada dejando rocas de diferentes tamaños sobre la superficie de rodamiento que hace que se vuelva insegura para la circulación de vehículos.

Durante la ocurrencia del sismo, el movimiento de la tierra hace que rocas y material inestable presente en el talud caiga sobre la corona, provocando daños en obras de drenaje, obstrucción de la superficie de rodamiento, así como posibles daños a la carpeta asfáltica o la losa de concreto en su caso.

Este problema es poco frecuente, debido a los grandes intervalos de tiempo entre la ocurrencia de sismos de magnitud importante. En lo que concierne a la base de datos solo

existe un registro de daños de este tipo, el cual consistió en un derrumbe de rocas con tamaños de alrededor de 2 m de diámetro que obstruyeron dos de los cuatro carriles que componen a la carretera Colima – Tecomán (Fig. 4.14). El daño fue provocado por un sismo de 7.8 en la escala de Richter el 21 de enero de 2003, el cual también generó daños en diversos puentes y tramos carreteros del estado de Colima.



Fig. 4.14. Tramo afectado por derrumbe del corte adyacente. Fuente: CENAPRED

4.6 Daños por deslaves

México cuenta con una topografía particular, en buena parte del territorio el relieve es sumamente accidentado debido a los sistemas orográficos que existen. El país es atravesado de norte a sur por la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental; en cuanto de oeste a este es atravesado por el Eje Neovolcánico. Esto supone un importante reto en la construcción de caminos a través de estas zonas. Es por ello que surge la necesidad de realizar cortes en cerros y construir estructuras tales como puentes, túneles y terraplenes; además, los requerimientos de acuerdo con el diseño geométrico toman en cuenta una elevación de rasante para eliminar las fuertes pendientes. Esta situación hace que las carreteras mexicanas se encuentren altamente expuestas a peligros propios de zonas de topografía accidentada, dentro de los cuales se incluyen los deslizamientos de laderas y fallas de taludes

Los deslaves consisten básicamente en la falla de un talud o ladera por pérdida de resistencia al esfuerzo cortante de una masa de tierra o roca, la cual puede ser provocada por la saturación del material al infiltrarse el agua. Junto con los deslaves, los caídos y los flujos son otros dos tipos de falla de taludes y laderas, y estos se diferencian de acuerdo con las características y la forma en que ocurrió la falla de la ladera o el talud (Fig. 4.15).

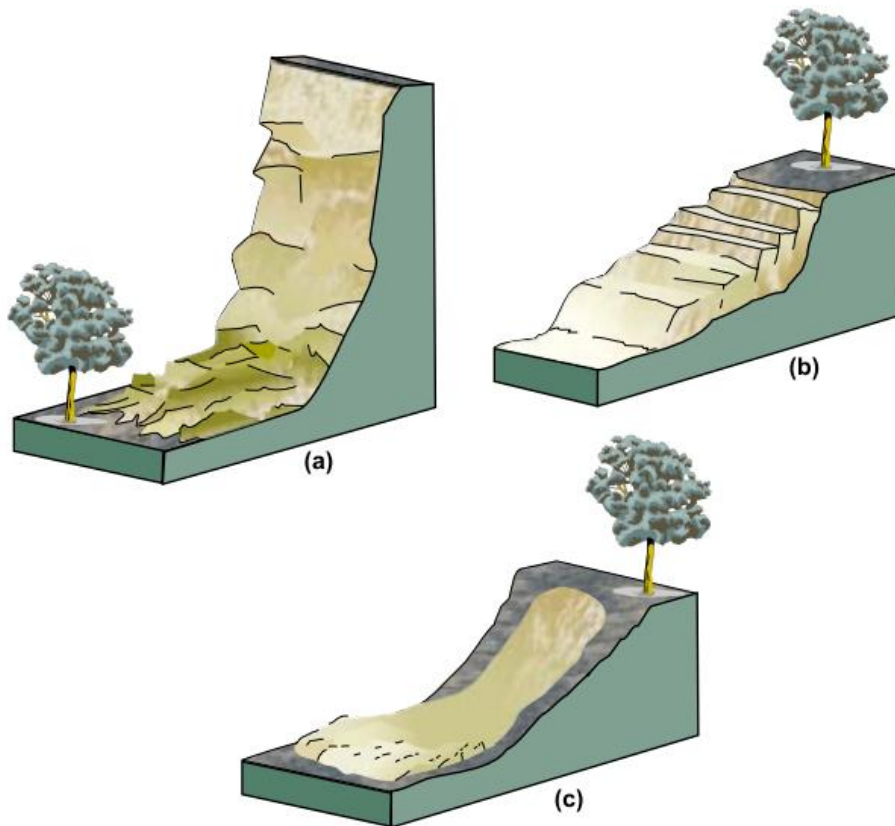


Fig. 4.15. Tipos de falla más comunes en deslizamientos de ladera y taludes: a) Caído; b) Deslave; c) Flujo (Fuente: CENAPRED)

El tipo de falla depende de diversos factores geomorfológicos como la topografía de los alrededores, la geometría del talud y la estratificación de los materiales térreos. Intervienen también factores internos como los estados de esfuerzo actuantes, susceptibilidad de minerales, perfiles de meteorización y las propiedades mecánicas del suelo: permeabilidad, deformabilidad y resistencia. Así también los factores ambientales juegan un papel importante, tales como el régimen de precipitaciones, ya que frecuentemente son los detonadores en la ocurrencia de los deslizamientos.

En la época de lluvias, así como durante y después del paso de un fenómeno hidrometeorológico, las afectaciones causadas por los deslaves se presentan recurrentemente en la Red Nacional de Caminos. Cada año, carreteras tienen problemas debido a estos daños siendo uno de los problemas más frecuentes, así como de los que representan mayores costos en la rehabilitación de vialidades.

Al igual que en el caso de los colapsos de puentes, los deslaves pueden generar consecuencias indirectas graves, ya que los eventos de gran magnitud provocan cortes a la circulación de la vialidad afectada, lo que implica la interrupción de la comunicación con las comunidades a las que la carretera da servicio. A diferencia de los colapsos de puentes, los deslaves no siempre provocan el cierre total de la carretera, ya que en los casos menos graves en solo un sentido de la vialidad se tiene la acumulación de material proveniente del deslizamiento o el

deslave del terraplén. Esta situación permite el paso provisional de vehículos ligeros para la atención de la emergencia.

La base de datos de este trabajo cuenta con 29 registros de daños por deslaves, siendo el tipo de falla con más elementos dentro de dicha base. La mayoría de estos registros son de carreteras de administración federal con un nivel de afectación grave en varios casos.

En la mayoría de los registros se apreció que los deslaves se presentaron en zonas con suelos arcillosos homogéneos, suelos residuales limo – arenosos con poca arcilla, así como en zonas montañosas con alta presencia de lutitas y rocas calizas estratificadas.

Analizando estos registros se identificaron tres grupos de fallas por deslave que tienen ciertas particularidades que se describirán a continuación.

4.6.1 Falla del talud de corte

La primera situación recurrente que se observó fue que la falla del talud se presentó en el corte adyacente a la carretera, con la acumulación de material sobre la carpeta asfáltica. En estos casos, la falla que se presenta en el corte es de tipo rotacional, en la cual el talud pierde la resistencia al corte del material del que está compuesto hasta llegar al colapso. En cambio, la estructura del pavimento sobre donde se tiene la zona de acumulación del deslave no sufre afectaciones, relativamente manteniéndose estable; únicamente se tiene el problema de la obstrucción de la superficie de rodamiento por la caída de material (Fig. 4.16).



Fig. 4.16. Deslaves por falla de talud en cortes

Una característica importante que se identificó fue el hecho de que los taludes de los cortes donde se tuvieron los deslaves presentaban pendientes bastante pronunciadas, lo cual incrementa considerablemente el riesgo de deslave al tener condiciones de inestabilidad más críticas. Es visible la falta de elementos de contención y de drenaje en cortes con pendientes importantes, así como la deforestación en la parte superior de los cortes.

Una de las afectaciones más graves se tuvo en el año 2007 en el estado de Puebla, específicamente en la carretera estatal Tepeyac – Tlacotepec de Díaz, en un tramo cercano a la población de Eloxochitlan. Se presentó un deslave de la ladera de un cerro adyacente a la carretera, en donde al momento del deslizamiento un autobús de pasajeros que circulaba por el tramo quedó sepultado; el saldo de este evento fue de 32 personas fallecidas las cuales viajaban en dicho autobús (Fig. 4.17).

Este registro nos muestra la intervención conjunta de ciertos factores que provocaron este deslave de grandes dimensiones. De acuerdo con información de CENAPRED, se estima que el volumen de material deslizado fue de aproximadamente 45,000 m³ de suelo y rocas, constituido principalmente por fragmentos de rocas calizas intercaladas con capas de lutitas y suelos residuales superficiales. La altura del deslizamiento llegó a los 52 m desde la base, 90 m de ancho con un espesor promedio de 9m.

Se observa claramente la fuerte pendiente que existe en la ladera, la cual está cerca de los 60° con una altura total de 250 m. La zona donde está trazada la carretera tiene una orografía bastante accidentada con cambios abruptos de elevación siendo bastante inestable, con densa vegetación y con precipitaciones frecuentes e intensas.



Fig. 4.17. Deslave de ladera sobre la carretera Tepeyac – Tlacotepec de Díaz (Fuente: CENAPRED)

Así también es visible la deforestación de la parte superior de la ladera, lo que facilitó el ingreso de agua a la ladera durante las lluvias que se registraron días atrás. Esta situación provocó que el material del corte aumentara su peso y la presión dentro de este aumentara significativamente, provocando a su vez que el material se expandiera y perdiera resistencia al corte, resultando finalmente en el deslave sobre la carretera (Fig. 4.18).



Fig. 4.18. Bloques inestables en la parte alta de la escarpa de falla (Fuente: CENAPRED)

4.6.2 Falla del talud de terraplén

Para esta segunda situación, los deslaves se presentaron únicamente en la estructura del pavimento y en el terraplén donde dicha estructura está cimentada. Estas fallas se dan por no contar con los dispositivos de drenaje del agua (cunetas, canales longitudinales, lavaderos y alcantarillas) que impidan que la carretera se convierta en canal después de un corte y pendiente hacia el talud aguas abajo. Estos deslaves implican la obstrucción e incluso el seccionamiento del tramo afectado, por lo cual hace más complicada y costosa su rehabilitación debido a que ya se tiene el colapso total o parcial de la estructura del pavimento (Fig. 4.19).

La falla del talud del terraplén es de tipo rotacional, que en la mayoría de los casos es provocada principalmente por la saturación del terraplén o el paso de una corriente de agua en la base de dicho terraplén. Cabe resaltar que para garantizar la resistencia de un terraplén es necesario evitar que el agua ingrese al interior de la estructura térrea, de lo contrario, de forma similar a los cortes, la estructura pierde resistencia al esfuerzo cortante derivando en la falla del talud.

Se observó que en los terraplenes afectados de este grupo no existe un drenaje adecuado para aguas pluviales como cunetas, drenes y alcantarillas. Tampoco se aprecia una impermeabilización de los taludes de los terraplenes para evitar la entrada de agua. Así también se tiene que las corrientes de agua provocan erosión en las bases de los taludes del terraplén, lo que aumenta su tendencia al deslizamiento.



Fig. 4.19. Deslaves por falla de talud en terraplenes

Otro factor que influye de forma importante es la composición y compactación del material del terraplén. Varios de los registros muestran estructuras con material de tipo arcilloso el cual tiene poca o nula compactación. Este tipo de material al no estar debidamente compactado no alcanza a obtener una resistencia óptima, además de que es más susceptible a la entrada del agua y a la erosión provocada por las corrientes de agua.

4.6.3 Falla conjunta de corte y terraplén

Esta falla es la que muestra mayor nivel de daño, debido a que el deslave abarca al talud de corte junto con el terraplén y la estructura del pavimento, provocando un seccionamiento del tramo afectado y el corte a la circulación. Se presenta frecuentemente en zonas inestables con laderas de pendientes altamente pronunciadas y en secciones tipo balcón. Dependiendo de las características del entorno y de los terraplenes, el tipo de falla puede ser rotacional en el caso de pendientes grandes o traslacional en secciones en balcón.

En la base de datos se tienen 3 registros de este tipo (Fig. 4.20). En un par de casos se observa el enorme volumen de material colapsado y al igual que en las dos situaciones anteriores, la topografía se aprecia accidentada con pendientes pronunciadas junto con la ausencia de drenaje adecuado. En lo que respecta al material de los cortes y terraplenes, se tiene nuevamente presencia de suelo arcilloso y residuos superficiales.



Fig. 4.20. Deslave por falla de talud en corte y terraplén.

En las 3 situaciones descritas anteriormente, el agente de daño principal en la generación de los daños fue la precipitación pluvial junto con corrientes de agua. Estos agentes modifican las condiciones de contenido de agua del subsuelo además de que ocasionan erosiones en la base de los taludes. La presencia de agua en exceso en terraplenes y cortes implica que el peso del material aumente y con ello aumente la presión interna del corte/terraplén. A esto se le agrega que el agua propicia una expansión de los materiales los cuales disminuyen su resistencia al corte, sobre todo en rocas débiles y materiales no consolidados con contenidos de arcilla.

Existe también otro agente de importancia que merece mención especial, el cual son los relacionados con orígenes geológicos, tal es el caso de la autopista Tijuana – Ensenada, en el tramo ubicado en la bahía Salsipuedes, en donde se tuvo un deslizamiento de la ladera donde se encuentran los 4 carriles de dicha carretera, esto debido al constante movimiento de las fallas geológicas locales en la zona. El deslizamiento provocó un enorme seccionamiento de 240m en la vialidad en donde incluso quedaron vehículos atrapados (Fig. 4.21). La vialidad no prestó servicio por alrededor de 12 meses impactando gravemente en las actividades económicas de la zona y en los usuarios.



Fig. 4.21. Daños por deslizamiento de ladera

4.7 Daños por erosión hídrica

En este tipo de daños se ve implicada la acción de la erosión hídrica, la cual consiste en un proceso de sustracción de masa sólida del suelo o de la roca de la superficie llevado a cabo por un flujo de agua que circula por la misma.

En el caso de las carreteras, la erosión se presenta en la estructura del pavimento, principalmente en las bases y sub-bases, así como en la carpeta asfáltica y en las bases del terraplén.

La erosión hídrica es un problema que se presenta con frecuencia en nuestro país, debido a que las obras de vías de comunicación generan superficies expuestas de materiales de suelos y subsuelos con pendientes pronunciadas, junto con la ausencia de algún recubrimiento o de vegetación. Esta situación hace que las carreteras sean bastante vulnerables a la erosión hídrica y a los movimientos repentinos de masa.

Los daños consisten básicamente en la erosión y pérdida de material de las bases y sub-bases, así como de los cuerpos de terraplén, por rebase del agua de lluvia debido a la insuficiencia de las obras de drenaje o puentes. Esto tiene como resultado final el colapso parcial de la estructura del pavimento. En la superficie de rodamiento los daños que se tienen son por la destrucción total o parcial de la carpeta asfáltica debido a la pérdida de material de la base de la carpeta (Fig. 4.22).



Fig. 4.22. Daños por erosión

En los casos más graves, el nivel de erosión es tal que se producen seccionamientos en la vialidad, generando que se corte la comunicación. Los seccionamientos se dan por la destrucción total de la superficie de rodamiento o por el arrastre de la totalidad del cuerpo de terraplén (Fig. 4.23).

En la base de datos se cuenta con 9 registros para este tipo de daño, todos los registros están cercanos a corrientes de agua las cuales ocasionaron los daños, así también es visible en algunos casos la falta de protección de los terraplenes, así como la ausencia de obras de drenaje adecuadas.



Fig. 4.23. Erosión y destrucción de carpeta asfáltica

Se observó que el principal agente de daño que generó las afectaciones fue el paso o permanencia prolongada de una corriente de agua, producto de precipitaciones intensas extraordinarias. Las corrientes de agua arrastraron grandes cantidades de material de terraplén y de pavimento.

Otro agente importante que se detectó fue el oleaje, el cual se presenta durante el paso de un ciclón tropical cerca de zonas costeras; las olas de gran tamaño impactan a la estructura térrea con gran fuerza y a su vez arrastran material de dicha estructura provocando finalmente el colapso del terraplén (Fig. 4.24).



Fig. 4.24. Erosión por oleaje

4.8 Daños por inundación

En México, uno de los problemas más recurrentes en las carreteras son las inundaciones. La situación geográfica en el país hace que múltiples fenómenos meteorológicos afecten a casi todo el territorio, dichos fenómenos generan precipitaciones intensas, las cuales a su vez generan las inundaciones.

De acuerdo con investigaciones de CENAPRED, las inundaciones tienen 4 principales orígenes de los cuales dependen características como el volumen de agua estancada y la duración de la inundación. Estos factores a su vez influyen directamente en las características de los daños en las carreteras. Los orígenes de inundaciones son: pluvial, fluvial, costeras y por falla de infraestructura hidráulica. En la base de datos se tienen registros de daños por cada tipo de inundación a excepción de la costera.

Las inundaciones de origen fluvial “se presentan por el desbordamiento de un río, el cual es incapaz de conducir el agua en exceso producto de una lluvia. El tiempo que dura la inundación dependerá de la velocidad del flujo dentro del río” (CENAPRED 2001). Para las inundaciones de este tipo los daños más frecuentes que se presentan son por la inundación de vado por donde circulan corrientes de agua. En los casos menos graves únicamente se tiene la obstrucción de la superficie de rodamiento por el flujo o estancamiento del agua (Fig. 4.25).



Fig. 4.25. Inundación de tipo pluvial en vados

Por otro lado, en los casos más severos se tienen corrientes y volúmenes de agua mayores y de más duración. Aquí se empiezan a presentar deterioros de la superficie de rodamiento como baches y asentamientos, originados por la saturación del material de base; junto con lo anterior se tienen desprendimientos de la carpeta asfáltica por la misma situación. Así también por producto de inundaciones fluviales se pueden generar daños de otros tipos como por erosión, seccionamiento y azolves (Fig. 4.26).



Fig. 4.26. Daños por seccionamiento y azolve generados por inundación fluvial.

Las inundaciones de origen pluvial “se generan cuando el agua de una lluvia local intensa, al precipitarse sobre una superficie plana o cóncava, es incapaz de desplazarse por sí misma, por tanto, permanece estancada por horas o días hasta que por infiltración y/o evaporación desaparece el cuerpo de agua” (CENAPRED, 2001).

Los daños asociados a la inundación de tipo pluvial no suelen ser tan graves como los provocados por inundaciones fluviales, debido a que solo se da la acumulación de agua por encima de la superficie de rodamiento, sin que se tenga una corriente que pudiese dar lugar a erosiones. Sin embargo, si se tienen largos periodos de estancamiento, la estructura del pavimento puede llegar a saturarse y con ello se pierda resistencia, derivando finalmente en asentamientos en la superficie de rodamiento, agrietamientos, bacheo y desprendimientos de carpeta asfáltica (Fig. 4.27).



Fig. 4.27. Daños por inundación pluvial.

En cuanto a las inundaciones debidas a fallas de la infraestructura hidráulica, como su nombre lo indica se presentan “cuando los sistemas de alcantarillado son insuficientes para desalojar el agua de lluvia, o por alguna falla, nulo mantenimiento, o mal diseño de la obra” (CENAPRED, 2001). Así también están incluidas las fallas en los sistemas de drenaje propios de la carretera como cunetas, alcantarillas o lavaderos. En estos casos, las inundaciones tienen efectos semejantes a los que se tienen con los dos tipos de inundación mencionados anteriormente.

Como ejemplo de ello, en la figura 4.28 correspondiente al registro CR-HM-31, la inundación fue causada por la ruptura de uno de los bordes del Río de la Compañía, el cual corre en un tramo paralelo a la autopista México – Puebla cerca del km 28+000. De igual manera, aunque los volúmenes de agua estancada no sean grandes, si el tiempo de encharcamiento es prolongado puede generar daños en la superficie de rodamiento y la estructura del pavimento.

Por último, la inundación de tipo costera se da “cuando el nivel medio del mar asciende debido a la marea y permite que éste penetre tierra adentro en las zonas costeras, generando el cubrimiento de grandes extensiones de terreno” (CENAPRED, 2001). Esta inundación es provocada por la marea de tormenta que se genera durante el paso de un ciclón tropical. Nuevamente, las afectaciones por este tipo de inundación son bastantes semejantes a los otros tipos, pero los volúmenes de agua, así como el tiempo de inundación suelen ser mayores.



Fig. 4.28. Anegación de la superficie de rodamiento en la autopista México – Puebla km 28+500

En los 4 tipos de inundaciones, la afectación común es el corte a la circulación de la carretera, independientemente de la magnitud de la inundación. Esto supone un problema importante ya que, al igual que en los casos de colapsos de puentes y deslaves, estos cortes implican serias consecuencias sociales y económicas indirectas en la población afectada por un siniestro.

4.9 Daños por seccionamiento

Este tipo de daños es uno de los más frecuentes que se presentan en las carreteras junto con los deslaves. Los seccionamientos consisten en la pérdida o colapso de uno o varios tramos de varios metros en la vialidad afectada (Fig. 4.29). Las afectaciones se dan principalmente en tramos que están cimentados en terraplenes de mediana y gran altura, pero también se presentan en secciones en balcón y cortes.



Fig. 4.29. Daños por seccionamiento

En los seccionamientos intervienen diversos factores que influyen en el nivel de daño, así como de la localización de estos. A pesar de esta situación, el agente de daño principal que

generó la mayoría de los daños de este tipo fue la precipitación intensa y las corrientes de agua o avenidas que se desarrollaron consecuentemente.

Cabe destacar que otros tipos de daños vistos anteriormente, como la erosión y las inundaciones, pueden llegar a generar daños por seccionamiento debido a que estos tipos de daños también implican una pérdida de material en terraplenes y bases del pavimento, así como desprendimientos de losas y carpetas asfálticas.

En la base de datos, los daños por seccionamiento son uno de los tipos de daños que más número de registros tiene dentro de dicha base. Prácticamente en todos los registros los agentes de daño fueron las corrientes de agua, por esta razón los daños están localizados en estructuras térreas construidas sobre barrancos poco profundos, arroyos secos o con poco flujo y zonas cercanas a cuerpos de agua. También se observó que existen diferentes maneras en como las corrientes de agua ocasionaban los seccionamientos.

Para los seccionamientos se identificaron dos situaciones. En la primera de ellas el seccionamiento se produjo debido a la crecida de la corriente de agua por la que atraviesa la vialidad. En estos casos, los terraplenes no contaban con alcantarillas o bóvedas que permitieran la libre circulación de los grandes flujos de agua que se presentaron. Es por esta razón que el nivel de agua sobrepasó el nivel de la superficie de rodamiento, y por ende la corriente de agua fluyó por encima de la corona.

En este punto, al estar el agua en movimiento, se inició un proceso de erosión generando pérdidas de material en el cuerpo de terraplén y la estructura del pavimento. Debido al gran arrastre de material, las estructuras térreas en donde se apoya la carretera se debilitaron considerablemente, llegando al punto en que estos elementos no fueron capaces de resistir los empujes laterales que generan los grandes volúmenes de agua en movimiento; es en este momento en que el terraplén sufre una ruptura y colapsa por lo que inmediatamente es arrastrado por la corriente.



Fig. 4.30. Seccionamientos provocados por corrientes de agua

En la segunda situación, los terraplenes contaban con obras de drenaje como alcantarillas y bóvedas donde la corriente de agua pudiera circular sin afectar a la estructura del pavimento.

Lo que se observó en estos casos fue que el nivel del agua no llegó hasta el nivel de la superficie de rodamiento, pero aun así los terraplenes colapsaron, esto se debe principalmente a la falla de las alcantarillas y obras de drenaje en la base del terraplén.

Durante la crecida de la corriente de agua, las alcantarillas ven superada su capacidad de desagüe, por lo que trabajan a tubo lleno mientras el nivel del agua incrementa aguas arriba. En el caso de alcantarillas construidas con mampostería, el hecho de que trabajen a tubo lleno implica un aumento de presión en el tubo, lo que provoca que se tengan infiltraciones al cuerpo del terraplén, cabe señalar que las alcantarillas de este tipo están diseñadas para que funcionen con una superficie libre.

Con la infiltración del agua en el cuerpo del terraplén, los materiales térreos comenzaron a saturarse de humedad y consecuentemente a desmoronarse debilitando la estructura. Lo anterior, aunado con la erosión ocasionada por la corriente dentro del tubo, genera una socavación en la base del terraplén, que finalmente genera el colapso y el resto del terraplén sea arrastrado por el flujo del agua, teniendo finalmente el seccionamiento (Fig. 4.31).



Fig. 4.31. Seccionamientos por falla de alcantarillas

En los terraplenes en donde se presentaron los seccionamientos se deduce que estos fueron contruidos únicamente a volteo con poca o nula compactación de los materiales térreos, ya que no es visible el capeo o estratificación distintiva de trabajos de compactación; esta situación provocó que el agua entrara más fácilmente al terraplén y provocara su colapso.

Así también es visible la ausencia de estructuras de drenaje como bordillos, lavaderos, cunetas e impermeabilización, con ello se tiene una nula protección de los taludes del terraplén para evitar el ingreso del agua a la estructura térrea.

4.10 Daños por socavón

Este tipo de daño consiste principalmente en un colapso puntual del terraplén, que provoca la aparición de una cavidad en la superficie de rodamiento de varios metros de profundidad, esta puede llegar a seccionar la vialidad y además impide la circulación de vehículos.

Los socavones tienen su origen principalmente en la saturación y pérdida de material del terraplén de cimentación del pavimento. Esta saturación se da principalmente por la incursión de agua proveniente de una corriente en la parte baja del terraplén, siendo generalmente una alcantarilla.

En muchas ocasiones, al presentarse precipitaciones extraordinarias intensas, se generan grandes flujos de agua que son controlados por las estructuras de drenaje de las carreteras, dentro de las cuales destacan las alcantarillas. Las alcantarillas en estas situaciones extraordinarias trabajan en condiciones de tubo lleno, en donde se generan presiones que hacen que el agua llegue al terraplén que está encima de la alcantarilla.

Cuando el agua entra al terraplén comienza a saturar el material y a debilitarlo, lo cual produce pequeñas cavidades, las cuales aumentan su tamaño conforme el tiempo pasa y el agua sigue desmoronando la estructura del terraplén. Las cavidades siguen creciendo hasta llegar muy cerca de la superficie de rodamiento, es en este punto en donde el pavimento pierde por completo su base de apoyo. Las cargas generadas por los vehículos ya no son transmitidas a la cimentación y es aquí donde se produce la falla con la aparición de un boquete en la superficie de rodamiento que expone la cavidad que se desarrolló.

El socavón puede ir creciendo conforme el material del terraplén continúe colapsando, haciendo que el boquete aumente de dimensiones y de profundidad. El socavón en pavimentos flexibles inicia con un pequeño boquete el cual va creciendo conforme la cavidad debajo se hace mayor. En cambio, en los pavimentos rígidos, el socavón aparece repentinamente, debido a la falla frágil de la losa de concreto.

Otro aspecto importante que hay que tomar en cuenta es que los socavones se caracterizan por no presentarse inmediatamente después de la ocurrencia de un fenómeno natural, estos se presentan en un periodo de tiempo mayor que otros tipos de daños. La forma en la que se generan los socavones hace que este tipo de daños sean difíciles de detectar, principalmente en pavimentos rígidos, ya que en el exterior casi no se muestran señales a simple vista que indiquen la posible aparición de un socavón, en estos casos es necesario hacer pruebas especializadas en campo para detectar este tipo de problemas.

El hecho de que no se muestren señales de daños inmediatos después de la ocurrencia de un fenómeno, hace que los socavones sean altamente peligrosos para los usuarios. Al no tener signos de daños, la carretera sigue operando normalmente por lo que los vehículos siguen

circulando aun cuando el pavimento puede estar casi al punto de colapso. Los vehículos pueden caer a la cavidad justo cuando se abre el socavón debajo de los vehículos, provocando así posibles pérdidas humanas y cuantiosas pérdidas materiales al usuario.

Uno de los hechos más recientes, fue el ocurrido el 12 de julio de 2017 en el llamado Paso Exprés de Cuernavaca, en donde se tuvo un socavón de aproximadamente 5 metros de profundidad en el km 93+600 (Fig. 4.32). El pavimento construido originalmente con una losa de concreto, por hundimiento prematuro debido al progreso del socavón por alcantarilla de tubos de concreto mal acostillada, se le superpusieron capas de concreto asfáltico para renivelar la superficie de rodadura, la cual colapsó repentinamente antes de inaugurar la carretera, por lo que un vehículo que circulaba por el carril de extrema izquierda cayó a dicho socavón provocando la muerte de dos personas. Nótese la varilla de amarre de la losa de concreto colapsada, subyacente a las capas de concreto asfáltico que identifica a dicha losa colapsada. En este suceso intervinieron diversos factores en donde el agente principal de daño fue una corriente de agua que circulaba por la alcantarilla, ubicada en la parte inferior del terraplén. Deficiencias en el proceso constructivo y la mala supervisión durante la construcción también intervinieron en la aparición del daño.



Fig. 4.32. Daño por socavón en el Paso Exprés de Cuernavaca en el km 93+600. (Fuente: animalpolitico.com)

5. Georreferenciación y mapas de riesgo

Para este capítulo se tiene preparado material gráfico relacionado con la ubicación y número de los registros de daños de acuerdo a su tipo, así también se analizará la información existente acerca de mapas de riesgo para diferentes agentes de daño y se comparará con el trabajo de georreferenciación de esta tesis.

5.1 Mapas de daños

El material gráfico consta de una serie de mapas en donde se muestra la ubicación de todos los registros de daños almacenados en la base de datos analizada en el capítulo 3 de este trabajo. Los mapas abarcan la totalidad del territorio nacional y estos contienen a la red de carretera del país, así como parte de la topografía que está presente en México.

Se tienen en total 10 mapas, los cuales fueron realizados con software especializado en sistemas de información geográfica. Dicho software permite el manejo de extensas bases de datos con lo cual es posible realizar análisis y procesamiento de datos geográficos, a los cuales se les pueden relacionar con otros atributos que sean de interés para el usuario.

Este tipo de herramientas es ampliamente usado en bases de datos sobre catastro, censos y actividad económica. Para el caso de este trabajo el software permitió la realización de mapas con manejo de los campos con los que cuenta la base de datos.

De los 10 mapas mencionados anteriormente el primero muestra la distribución de la totalidad de registros con las que cuenta la base de datos; los 9 mapas restantes presentan la ubicación de los registros de daños de acuerdo con la clasificación propuesta en el capítulo 4. A continuación se muestra el listado de figuras que contienen dichos mapas (Tabla 5.1):

Tabla 5.1. Listado de mapas de georreferenciación de daños

Listado de mapas		
Figura 5.1	Mapa general de daños	Pág. 44
Figura 5.2	Daños por Agrietamiento	Pág. 45
Figura 5.3	Daños por Azolve	Pág. 46
Figura 5.4	Daños por Colapso de puente	Pág. 47
Figura 5.5	Daños por Derrumbe	Pág. 48
Figura 5.6	Daños por Deslave	Pág. 49
Figura 5.7	Daños por Erosión Hídrica	Pág. 50
Figura 5.8	Daños por Inundación	Pág. 51
Figura 5.9	Daños por Seccionamiento	Pág. 52
Figura 5.10	Daños por Socavón	Pág. 53



Fig. 5.1. Mapa general de daños



Fig. 5.2. Daños por Agrietamiento

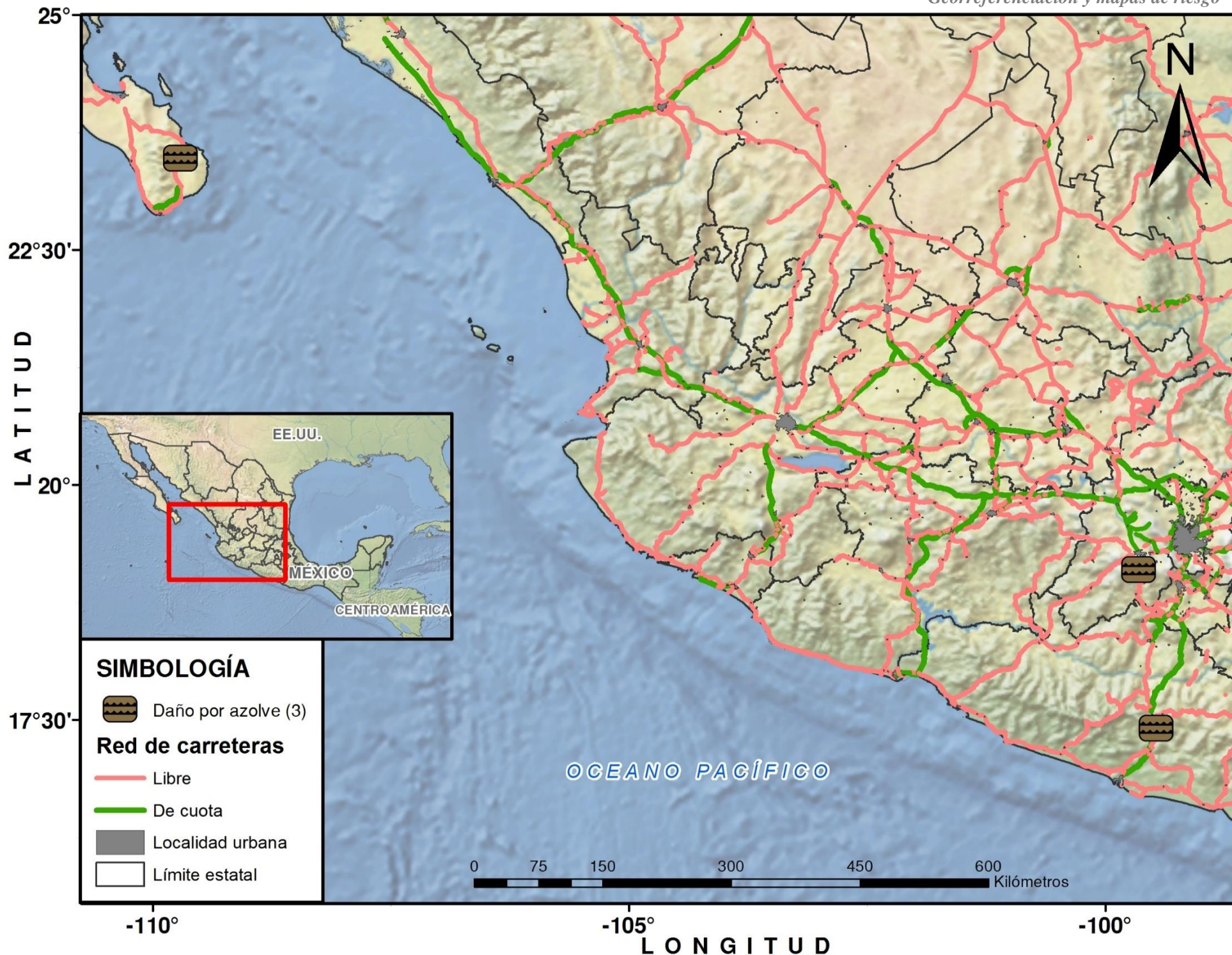


Fig. 5.3. Daños por Azolve



Fig. 5.4. Daños por Colapso de puente



Fig. 5.5. Daños por Derrumbe



Fig. 5.6. Daños por Deslave



Fig. 5.7. Daños por Erosión Hídrica



Fig. 5.8. Daños por Inundación



Fig. 5.9. Daños por Seccionamiento

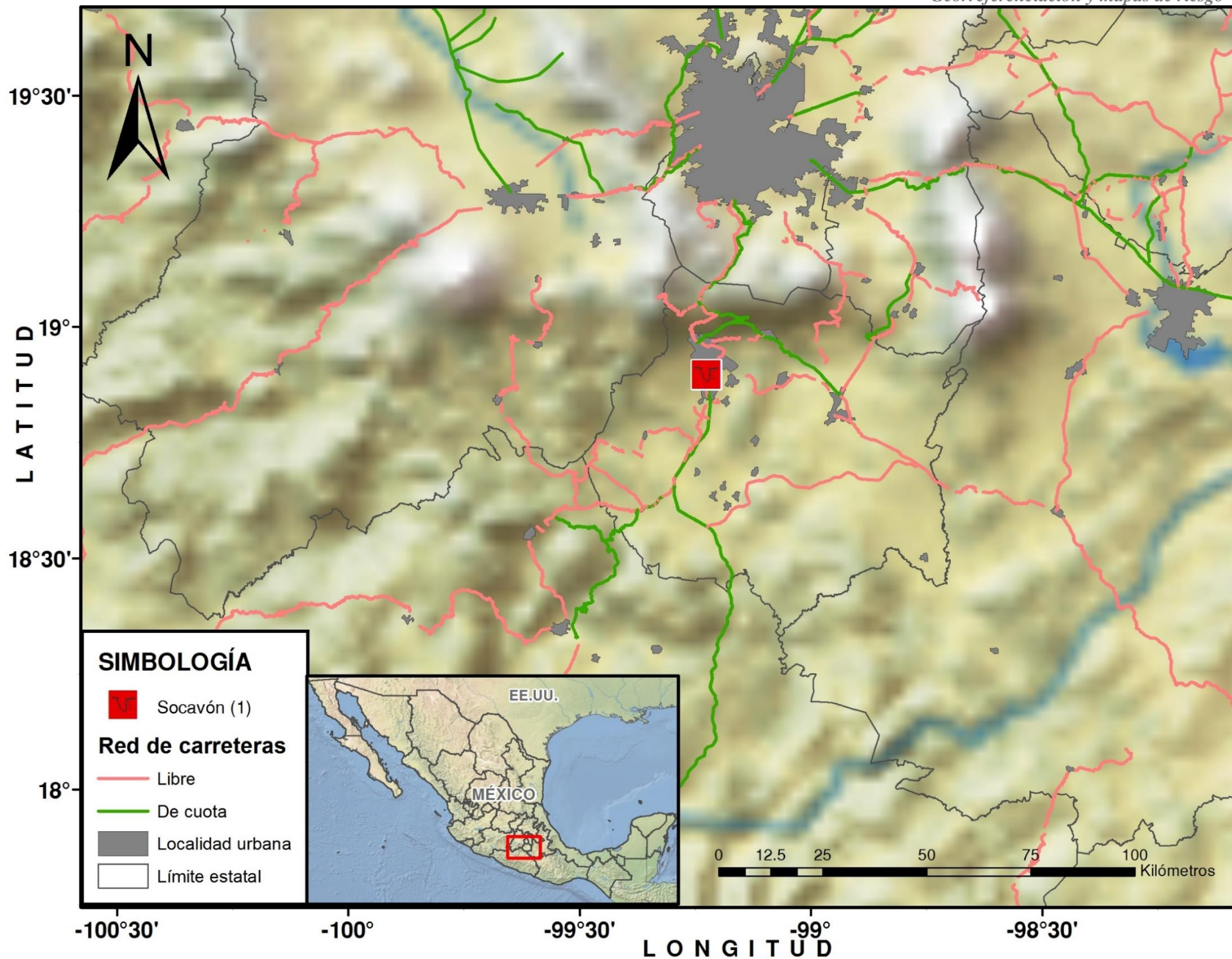


Fig. 5.10. Daños por Socavón

5.2 Mapas de riesgo existentes

En la actualidad, en Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) tiene disponible para su consulta el Atlas Nacional de Riesgos, el cual consiste en una serie de aplicaciones basadas en sistemas SIG. Estas aplicaciones son mapas interactivos donde es posible consultar y descargar información relevante acerca del nivel de riesgo que se tienen en cualquier lugar del país con respecto a un fenómeno natural o situación de peligro y vulnerabilidad.

Cabe resaltar que estos mapas de daños pueden tener distintos enfoques como riesgos en infraestructura general, servicios o viviendas. Los mapas de riesgo pueden tener diversas áreas de intereses y varían de acuerdo con la información que se desea obtener por la entidad que las realiza. Para el caso de este trabajo se usarán los mapas del Atlas Nacional de Riesgos con el objetivo de tener una referencia respecto a la ubicación de los daños recopilados.

Varios de los mapas de riesgos están relacionados con agentes de daño que se tienen en la base de datos que se ha manejado en capítulos anteriores de este trabajo. Es por ello que resulta importante realizar una comparación entre los mapas de riesgo y la información de dicha base de datos, esto con el objetivo de corroborar si existe una congruencia entre la ubicación de los daños y la información acerca de los agentes de daños en los mapas de riesgo. Al poder corroborar y relacionar la información del Atlas Nacional de Riesgos con la de la base de datos, es posible usar esta última en un análisis más extenso para la creación de nuevos mapas de riesgo que puedan ser incorporados al atlas y sobre todo en la normativa de SCT.

5.2.1 Comparación con los daños recopilados

El primer mapa de riesgo consultado fue el relacionado con la localización de las regiones con alto potencial de deslizamiento, el cual muestra 8 zonas en donde se tienen niveles de riesgo importantes por deslizamiento de tierra. Al introducir en este mapa la capa de daños por deslave es visible que, aquellos en donde el deslave se presentó en el corte o en la ladera, se encuentran dentro de las zonas con potencial de deslizamiento, lo que nos indica la relación entre la ubicación de la vialidad y el tipo de daño presentado (Fig. 5.11). Se puede apreciar también que varios de los registros no coinciden con algunas de las zonas con alto potencial de deslizamiento, esto se debe principalmente a que en estos registros los deslizamientos se presentaron únicamente en el talud del terraplén mas no el corte o la ladera adyacente.

En una segunda comparación se revisó el mapa que muestra el Índice de vulnerabilidad de inundación a nivel municipio, el cual mide el nivel de vulnerabilidad en 5 niveles: Muy baja, Baja, Media y Alta. En la base de datos se seleccionaron los daños que fueran del tipo por inundación para poder insertarlos en el mapa realizado por CENAPRED. Se aprecia en la Fig. 5.12 que los daños por inundación están localizados en zonas donde la vulnerabilidad es de nivel Media a Alta, confirmando así la relación entre zonas vulnerables y la generación de los daños.

De igual manera para el caso de daños por seccionamiento, se hizo la comparación con un mapa de riesgo relacionado con los agentes de daños para este tipo de afectación. En los daños por seccionamiento varios de los agentes de daño son parte de los efectos de un ciclón tropical, es por ello que se analizó el mapa de riesgo por Ciclones Tropicales en donde nuevamente, los daños se concentran en municipios que cuentan con un alto grado de riesgo ante este tipo de fenómenos hidrometeorológicos (Fig. 5.13). Así también en los daños donde el agente de daño principal de afectación fue un sismo, al compararlos con el mapa de regionalización sísmica de CFE -2015 se encontró que dichos registros estaban ubicados en zonas con alto nivel de riesgo sísmico (Fig. 5.14).



Fig.5.11. Regiones potenciales de deslizamiento (Atlas Nacional de Riesgos - CENAPRED) y daños por deslaves

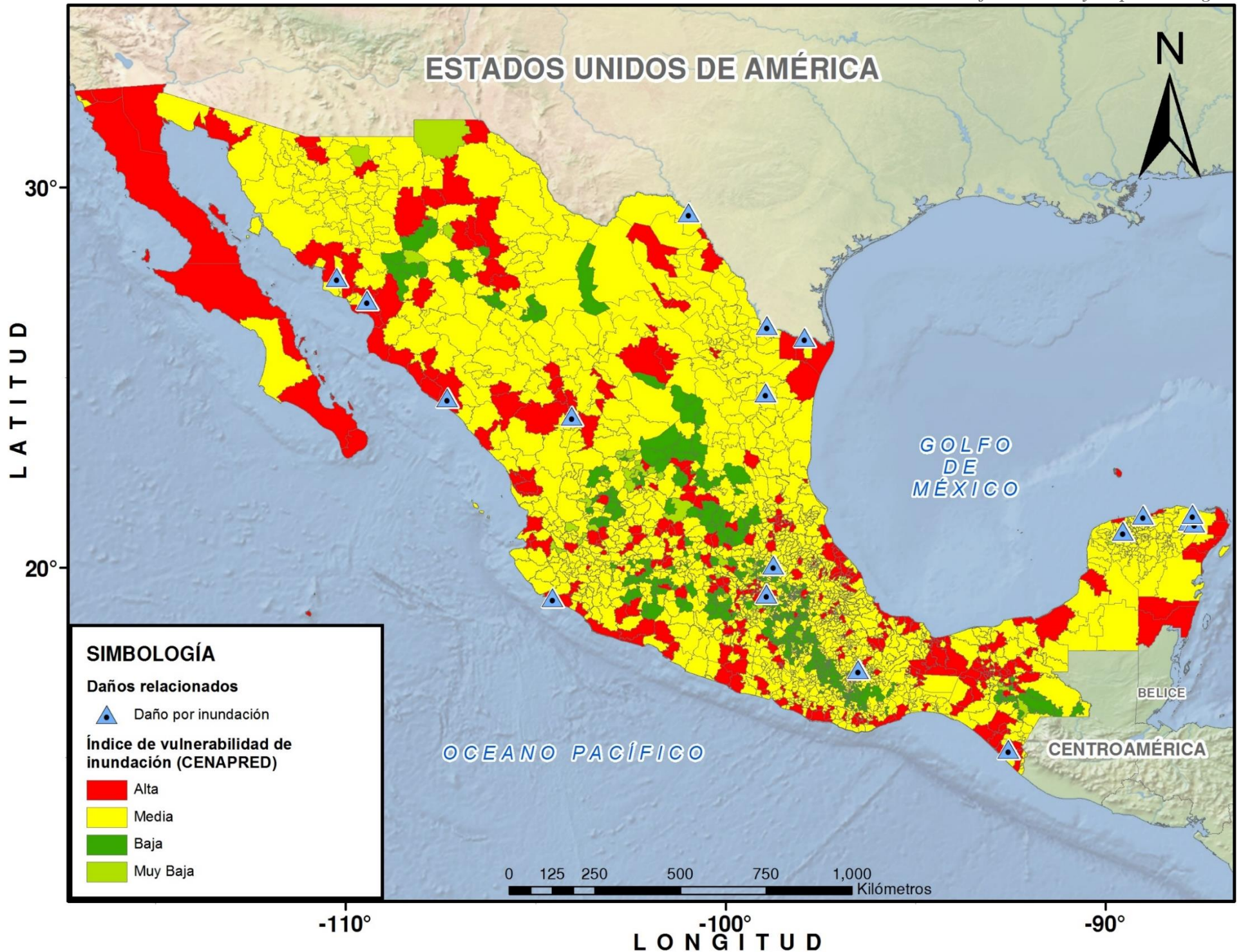


Fig.5.12. Índice de vulnerabilidad de inundación (Atlas Nacional de Riegos - CENAPRED) y daños por inundación

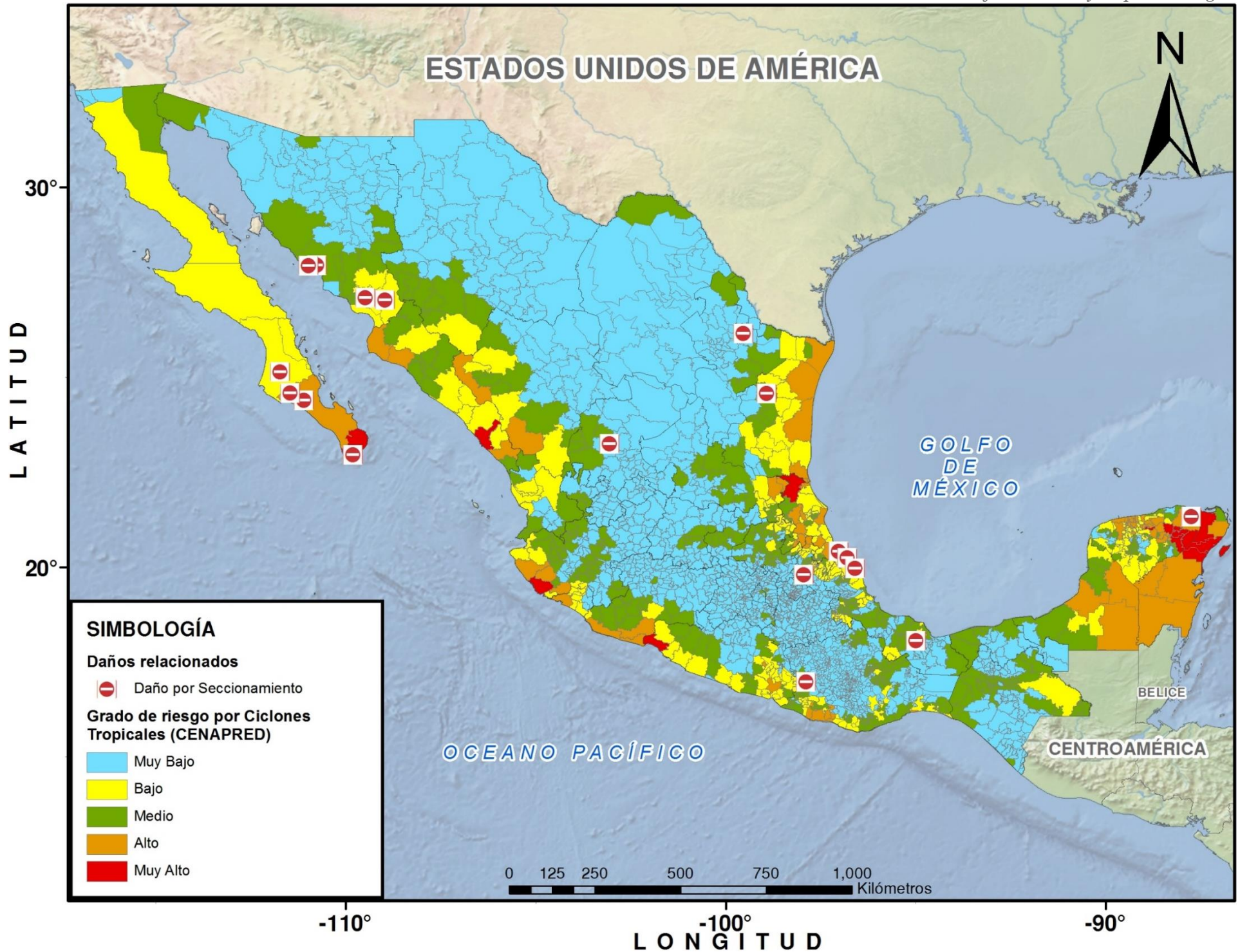


Fig.5.13. Grado de riesgo por Ciclones Tropicales (Atlas Nacional de Riesgos - CENAPRED) y daños por seccionamiento



Fig.5.14. Regionalización Sísmica CFE (Atlas Nacional de Riesgos - CENAPRED) y daños generados por sismo

6. Conclusiones

México cuenta con una situación geográfica muy particular en lo que respecta a la ocurrencia de fenómenos naturales. El país está ubicado entre dos de las grandes regiones de formación de ciclones tropicales, así también se ve afectada por la interacción de 5 placas tectónicas de gran actividad, derivadas de su cercanía con el Cinturón de Fuego del Pacífico, el cual es uno de los más activos del mundo en lo que a sismicidad se refiere. Junto a esta situación, se tiene que la topografía del país es bastante accidentada con cambios bruscos de elevación debido a los sistemas orográficos que existen, como son cadenas montañosas de gran extensión con una enorme cantidad de zonas inestables.

Las carreteras del país son altamente vulnerables a los efectos de la variedad de fenómenos naturales que pueden ocurrir dentro del territorio. Esta condición se agrava aún más considerando que la mayoría de dichas carreteras atraviesan zonas montañosas de condiciones geológicas y topográficas adversas. Por ello es preciso siempre tomar en consideración las múltiples amenazas que existen dentro del país y a las cuales están expuestas las vialidades.

De acuerdo con el trabajo de georreferenciación realizado en el capítulo 5, es visible que los daños se concentran en 4 zonas principalmente: la región centro-sur, la región sureste del litoral del Golfo de México, la región noroeste del litoral del Golfo de California y la península de Baja California.

La primera de ellas es la que comprende la región centro-sur del país, la cual se caracteriza por la presencia de sistemas montañosos extensos como la Sierra Madre Oriental, la Sierra Madre Occidental, la Sierra Madre del Sur y la Sierra Mixteca, todas atravesadas por el Eje Neovolcánico. La zona se caracteriza por su accidentada topografía y alto riesgo de deslizamiento de laderas. Así también, en dicha zona se concentra gran parte de la población y de la actividad económica del país, lo que implica una mayor densidad de caminos.

La segunda y la tercera zona son las que comprenden la parte sureste de la Llanura Costera del Golfo y la parte noroeste de la Llanura Costera del Pacífico respectivamente. Ambas regiones se caracterizan, por sus planicies y la presencia de grandes afluentes y cuerpos de agua. La cuarta zona es aquella que comprende la región sur de la península de Baja California, la cual cuenta con la Sierra de California y las planicies del centro sur de la península.

A pesar de la amplia distribución de los registros de daños, los agentes principales que generaron los daños en la red de carreteras fueron los relacionados con fenómenos de tipo hidrometeorológico. La base de datos contabiliza 96 registros en donde está involucrado un fenómeno de este tipo, lo que representa alrededor del 94% de la totalidad de las afectaciones registradas.

El agente de daño principal que afecta a las carreteras del país son las corrientes de agua, seguido de las precipitaciones. Ambos agentes fueron los efectos principales de ciclones

tropicales, los cuales tuvieron su trayectoria a través o cerca del territorio mexicano, siendo el principal fenómeno hidrometeorológico generador de daños en la base de datos. Los ciclones con mayor impacto fueron Wilma (2005), Paulina (1997), Manuel (2013) y Odile (2014).

En cuanto a tipos de daños, el principal problema que se tiene en las carreteras es el relacionado con los daños por deslaves. Estos daños cuentan con la mayoría de registros en la base de datos, seguido de los daños por seccionamiento e inundaciones. Los deslaves se dieron en zonas de topografía accidentada, con presencia de pendientes pronunciadas y en zonas con alta presencia de calizas y lutitas estratificadas; arcillas, limos y suelos residuales. Estos deslaves se dieron principalmente en los taludes de cortes y en los taludes de los terraplenes. En cambio, los seccionamientos y las inundaciones se presentaron en zonas de planicies cercanas a corrientes de agua.

Se detectaron diversas deficiencias en la infraestructura carretera que participaron significativamente en la generación de los daños. Dentro de dichas deficiencias resaltan las relacionadas con la hidrología y el drenaje de aguas pluviales y fluviales. En la mayoría de los daños por seccionamientos y deslaves, se hizo visible la falta de un estudio adecuado de hidrología. Lo anterior se refleja en los diseños de alcantarillas y dispositivos de drenaje como cunetas, bordillos, lavaderos, canales longitudinales y alcantarillas; cuyas capacidades de diseño de dichos elementos fueron insuficientes durante las precipitaciones y/o corrientes de agua extraordinarias que se presentaron en la ubicación de cada registro, provocando así su falla. Al fallar estos elementos se presentaron los deslaves y los seccionamientos que dieron lugar a la inoperatividad de la carretera.

Cabe resaltar que el drenaje determina la vida útil de una carretera, lo cual hace énfasis en mejorar los estudios hidrológicos contemplando mayores tiempos de retorno y diseños adecuados de los elementos que componen el drenaje, para con ello garantizar la protección de la carretera ante la presencia de agua con origen pluvial, fluvial o marítima.

Otra deficiencia recurrente tiene que ver con los cortes realizados para el paso de una vialidad. En muchos registros se observó que los cortes cuentan con pendientes muy pronunciadas que hacen que se tengan condiciones riesgosas de inestabilidad. A esto se le agrega que no se cuenta con sistemas de drenes o recubrimientos que impidan que se acumule presión hidrostática dentro del corte, también existen casos en los que se tiene la deforestación de la parte superior, lo cual provoca que el agua proveniente de precipitaciones se infiltre al interior del corte.

De igual manera, una deficiencia que es muy frecuente es aquella que se tiene con la compactación de los terraplenes. En varios casos de daños por seccionamientos, los terraplenes que colapsaron no contaron con un proceso de compactación del material, sino que únicamente fueron construidos “a volteo”. Esto se dedujo al observar la evidencia gráfica de los daños, en donde no se ve el capeo que es característico en terraplenes compactados. Al no estar debidamente compactado el material, este no adquiere una resistencia óptima, además de que es más susceptible al ingreso del agua al cuerpo del terraplén.

Para minimizar la generación de daños en terraplenes es necesario indicar en la normativa usada actualmente la importancia de la compactación de los enrocamientos contaminados con suelo. Hoy en día, las normas empleadas en terraplenes abordan de forma muy ambigua el tema de la compactación, ya que los enrocamientos contaminados con suelos son clasificados como “material no compactable”.

Por lo anterior se enfatiza que todos los pedraplenes contaminados con suelo deben de compactarse sin ninguna excepción, evitando completamente realizar construcciones “a volteo”. Dicha compactación puede realizarse con un rodillo compactador vibratorio dando de 6 a 8 pasadas. Así también debe vigilarse la cantidad de agua que necesita agregarse al material para conservar la humedad óptima y con ello obtener una compactación adecuada de hasta el 1% de deformación.

Junto con la compactación de los materiales, es pertinente mejorar las técnicas usadas para la colocación de las alcantarillas con el fin de evitar que el agua ingrese al terraplén por la alcantarilla cuando este trabaja a tubo lleno. Una solución a este problema fue desarrollada por el Ing. Pedro Corona Ballesteros al proponer una mezcla suelo – cemento de relación 1 a 8 para el arropamiento de alcantarillas; este arropamiento, además de ser más sencillo de construir, brinda un mejor apoyo del tubo y minimiza el ingreso de agua al terraplén.

En vías de evitar daños graves por deslaves en cortes, es recomendable abatir los taludes junto con la implementación de anclajes y desistir del uso de escalonamientos (bermas) para mejorar las condiciones de estabilidad del corte. En caso de no ser posible se puede optar por construir un túnel falso en zonas de topografía muy complicada, con el objetivo de proteger la corona del camino de los deslizamientos y con ello no interrumpir la circulación de los vehículos.

Cabe mencionar el caso de puentes, en donde los principales problemas que se presentan son el arrastre de los terraplenes de acceso y la socavación de la cimentación. Para ello es recomendable construir elementos de protección a los apoyos del puente, con el objetivo de disipar la energía de los grandes flujos de agua y evitar la socavación. También se propone dejar de construir terraplenes de acceso que tengan la función de “fusibles”, esto con el objetivo de no interrumpir la comunicación.

En México lamentablemente no existen normativas o procedimientos estandarizados para la atención de emergencias en carreteras; únicamente se tiene documentación interna de SCT, que son básicamente guías para el proceso de solicitud de recursos federales para la reparación de afectaciones. Es por ello que es necesario crear protocolos nacionales para la atención de daños en vías terrestres causados por desastres naturales, para con ello realizar acciones inmediatas para restablecer la comunicación entre las comunidades de una forma eficaz y rápida.

Actualmente, la construcción de vías terrestres en el país muestra muchas deficiencias debido a la ausencia de normativas enfocadas a los procesos constructivos y conservación adecuada. Estas deficiencias provocan que las carreteras no tengan un comportamiento apropiado durante la ocurrencia de un fenómeno natural. Resulta altamente necesaria la creación de

manuales de construcción y conservación de vías terrestres, esto con el objetivo de plantear procedimientos constructivos estandarizados que garanticen el correcto funcionamiento de la infraestructura durante su vida útil.

Junto con lo anterior, es importante que las normas actuales sobre materiales de construcción para vías terrestres sean revisadas y mejoradas, para implementarlas con nivel de Norma Oficial Mexicana (NOM) y junto con ello crear un sistema eficiente de gestión de la calidad, haciendo énfasis en las etapas de supervisión y monitoreo, con el objetivo de asegurar el cumplimiento de las normas y por ende la integridad de la carretera en el futuro.

Es también de suma importancia tomar en cuenta la información del Atlas Nacional de Riesgos durante la etapa de planeación en un proyecto de vías terrestres, así como en las normativas y manuales correspondientes. Así también, es importante crear mapas de riesgos especializados en vías terrestres, para poder conocer de forma más clara los riesgos particulares que se tienen en materia de infraestructura carretera. Esto permitirá diseñar adecuadamente a las carreteras, para disminuir la probabilidad de que dicha infraestructura se vea afectada gravemente ante un desastre natural, que pueda darse en el lugar donde se desarrolla el proyecto.

Finalmente, es importante considerar los graves efectos que provoca el cierre de una carretera en los diferentes sectores de la sociedad. Las carreteras son un elemento vital para integración del territorio nacional, además de que son las vías por donde las comunidades se mantienen comunicadas con el resto del país y permiten el acceso a servicios de salud, educación y la realización de actividades económicas de las cuales subsisten. Las carreteras cobran aún más importancia durante situaciones de contingencia provocadas por fenómenos naturales de gran magnitud, ya que son las vías por donde los equipos de emergencia y ayuda se desplazan y hacen posible realizar maniobras de rescate y evacuación de la población civil. Es por ello que las carreteras deben ser objeto de constante conservación y modernización, atendiendo las problemáticas que puedan presentarse por fenómenos naturales, esto con el fin de asegurar el desarrollo, bienestar y seguridad de la sociedad civil.

7. Anexos

Anexo 1. Base de datos sobre daños – Descripción General

NUM	ID	Y	X	ESTADO	MUNICIPIO	ADMIN	TIPO	NUM CARR.	NOMBRE DE VIALIDAD	KM	TIPO PAVIMENTO
1	PT-HM-1	20.417521	-97.031237	VERACRUZ	GUTIERREZ ZAMORA	FEDERAL	B2	180	POZA RICA - VERACRUZ	N/D	FLEXIBLE
2	PT-HM-2	20.417239	-97.028405	VERACRUZ	GUTIERREZ ZAMORA	FEDERAL	B2	180	POZA RICA - VERACRUZ	N/D	FLEXIBLE
3	PT-HM-3	20.376428	-96.922474	VERACRUZ	LA GUADALUPE	FEDERAL	B2	180	POZA RICA - VERACRUZ	N/D	FLEXIBLE
4	PT-HM-4	20.245812	-96.796532	VERACRUZ	TECOLUTLA	FEDERAL	B2	180	POZA RICA - VERACRUZ	N/D	FLEXIBLE
5	PT-HM-5	19.968985	-96.600375	VERACRUZ	EMILIO CARRANZA	FEDERAL	B2	180	POZA RICA - VERACRUZ	132+750	FLEXIBLE
6	CR-HM-1	19.793816	-97.941957	PUEBLA	AQUIXTLA	ESTATAL	D	116	CHIGNAHUAPAN - AQUIXTLA	24+000	FLEXIBLE
7	CR-HM-2	27.951369	-110.741239	SONORA	EMPALME	FEDERAL	ET4	15	CIUDAD OBREGON - GUAYMAS	107+926	FLEXIBLE
8	CR-HM-3	27.952128	-110.7612	SONORA	EMPALME	FEDERAL	ET4	15	CIUDAD OBREGON - GUAYMAS	109+006	FLEXIBLE
9	CR-HM-4	27.621935	-110.22434	SONORA	GUAYMAS	FEDERAL	A4S	15	CIUDAD OBREGON - GUAYMAS	41+450	FLEXIBLE
10	PT-HM-6	22.961791	-109.801737	BAJA CALIFORNIA S.	LOS CABOS	FEDERAL	B2	1	CABO SAN LUCAS-LA PAZ	15+250	FLEXIBLE
11	CR-HM-5	23.721739	-109.780228	BAJA CALIFORNIA S.	LA PAZ	FEDERAL	B2	1	CABO SAN LUCAS-LA PAZ	120+000	FLEXIBLE
12	CR-HM-6	20.943697	-89.551	YUCATAN	KANASIN	FEDERAL	ET4	180	MERIDA - KANTUNIL	8+500	FLEXIBLE
13	PT-HM-7	21.34128	-103.949774	NAYARIT	LA YESCA	ESTATAL	N/D	N/D	CAMINO A LA YESCA	N/D	TERRACERIA
14	PT-HM-8	23.245896	-103.05295	ZACATECAS	FRESNILLO	ESTATAL	N/D	N/D	EMANCIPACION - TRUJILLO	N/D	TERRACERIA
15	CR-GE-1	19.055734	-103.78656	COLIMA	TECOMAN	FEDERAL	A4	110	COLIMA - ENTRONQUE TECOMAN	21+000	FLEXIBLE
16	PT-GE-1	18.717176	-103.716139	COLIMA	TECOMAN	FEDERAL	B2	200	ENTRONQUE PLAYA AZUL - MANZANILLO	229+250	FLEXIBLE
17	PT-HM-9	28.672252	-100.548262	COAHUILA	PIEDRAS NEGRAS	FEDERAL	N/D	N/D	PIEDRAS NEGRAS - NAVA	N/D	FLEXIBLE
18	CR-HM-7	19.103577	-99.647797	ESTADO DE MEXICO	TENANGO DE VALLE	ESTATAL	N/D	N/D	TOLUCA - IXTAPAN DE LA SAL	N/D	FLEXIBLE

19	PT-HM-10	29.942228	-106.95825	CHIHUAHUA	BUENAVENTURA	FEDERAL	C	10	EL SUECO - JANOS	59+000	FLEXIBLE
20	CR-HM-8	23.967959	-104.049466	DURANGO	POANAS	ESTATAL	N/D	N/D	SUCHIL - VILLA UNION	N/D	FLEXIBLE
21	CR-HM-9	24.584616	-98.95108	TAMAULIPAS	SAN CARLOS	ESTATAL	N/D	13	SAN CARLOS - SAN NICOLAS	N/D	FLEXIBLE
22	CR-HM-10	24.5675	-98.921528	TAMAULIPAS	SAN CARLOS	ESTATAL	N/D	13	SAN CARLOS - SAN NICOLAS	N/D	FLEXIBLE
23	CR-HM-11	25.749531	-100.27565	NUEVO LEON	SAN NICOLAS DE LOS GARZA	MUNICIPAL	N/D	N/D	-		
24	CR-HM-12	20.905106	-98.702386	HIDALGO	TLANCHINOL	FEDERAL	B2	105	PACHUCA - TEMPOAL	147+140	FLEXIBLE
25	CR-HM-13	20.221143	-98.122379	PUEBLA	NAUPAN	ESTATAL	N/D	N/D	NAUPAN - TEJOCOTAL	N/D	FLEXIBLE
26	CR-HM-14	19.832517	-97.728963	PUEBLA	TETELA DE OCAMPO	ESTATAL	N/D	148	TETELA DE OCAMPO - ZACAPOAXTLA	18+750	FLEXIBLE
27	CR-HM-15	17.30659	-96.509063	OAXACA	SAN JUAN CHICOMEZUCHIL	FEDERAL	D	175	TUXTEPEC - OAXACA	N/D	FLEXIBLE
28	PT-HM-11	17.308505	-96.507957	OAXACA	SAN JUAN CHICOMEZUCHIL	FEDERAL	D	175	TUXTEPEC - OAXACA	N/D	FLEXIBLE
29	CR-HM-16	17.305535	-96.525547	OAXACA	SANTA CATARINA IXTEPEJI	FEDERAL	D	175	TUXTEPEC - OAXACA	N/D	FLEXIBLE
30	CR-HM-17	17.536892	-96.514251	OAXACA	SAN PABLO MACUILTIANGUIS	FEDERAL	D	175	TUXTEPEC - OAXACA	N/D	FLEXIBLE
31	CR-HM-18	18.068709	-94.999848	VERACRUZ	ACAYUCAN	FEDERAL	N/D	180	PASO DEL TORO - ACAYUCAN	207+300	FLEXIBLE
32	PT-HM-12	25.135242	-111.720705	BAJA CALIFORNIA S.	COMONDÚ	FEDERAL	ET2	1	LA PAZ - CIUDAD INSURGENTES	222+500	FLEXIBLE
33	PT-HM-13	24.388201	-111.103018	BAJA CALIFORNIA S.	LA PAZ	FEDERAL	ET2	1	LA PAZ - CIUDAD INSURGENTES	112+100	FLEXIBLE
34	PT-HM-14	24.587586	-111.463678	BAJA CALIFORNIA S.	LA PAZ	FEDERAL	ET2	1	LA PAZ - CIUDAD INSURGENTES	56+200	FLEXIBLE
35	CR-HM-19	23.480521	-109.709508	BAJA CALIFORNIA S.	LOS CABOS	FEDERAL	N/D	1	RAMAL A SANTIAGO	N/D	FLEXIBLE
36	CR-HM-20	24.451589	-107.32769	SINALOA	CULIACAN	FEDERAL	ET4	15D	MAZATLAN - CULIACAN	162+000	FLEXIBLE
37	PT-HM-15	24.210992	-107.130452	SINALOA	CULIACAN	FEDERAL	ET4	15D	MAZATLAN - CULIACAN	128+500	FLEXIBLE
38	PT-HM-16	24.338359	-107.091478	SINALOA	CULIACAN	FEDERAL	N/D	15	MAZATLAN - CULIACAN	152+800	FLEXIBLE
39	CR-HM-21	26.15585	-99.539566	NUEVO LEON	CERRALVO	FEDERAL	C	54	MONTERREY - CIUDAD MIER	106+350	FLEXIBLE
40	PT-HM-17	15.205252	-92.559176	CHIAPAS	VILLA COMALTITLAN	FEDERAL	ET4	200	TAPANATEPEC - TALISMAN	235+200	FLEXIBLE

41	PT-HM-18	14.800389	-92.503032	CHIAPAS	MAZATAN	ESTATAL	N/D	N/D	MAZATAN - SAN SIMON	N/D	FLEXIBLE
42	PT-HM-19	18.126503	-92.108241	CAMPECHE	PALIZADA	FEDERAL	D	217	SAN MARCO - PALIZADA	48+200	FLEXIBLE
43	CR-HM-22	18.690929	-91.713306	CAMPECHE	CIUDAD DEL CARMEN	FEDERAL	N/D	180	CIUDAD DEL CARMEN - CAMPECHE	16+100	FLEXIBLE
44	CR-HM-23	18.496433	-96.923409	PUEBLA	ELOXOCHITLAN	ESTATAL	N/D	726	TEPEYAC - TLACOTEPEC DE DIAZ	N/D	FLEXIBLE
45	CR-HM-24	28.59125	-105.891047	CHIHUAHUA	AQUILES SERDAN	ESTATAL	N/D	42	SAN GUILLERMO - AQUILES SERDAN	N/D	FLEXIBLE
46	CR-HM-25	27.088998	-109.486535	SONORA	NAVOJOA	ESTATAL	N/D	159	PERIFERICO NAVOJOA	N/D	FLEXIBLE
47	CR-HM-26	27.020707	-109.434104	SONORA	NAVOJOA	FEDERAL	ET4	15	LOS MOCHIS - CIUDAD OBREGON	150+000	FLEXIBLE
48	CR-HM-27	27.035682	-108.96028	SONORA	ALAMOS	ESTATAL	N/D	162	NAVOJOA - ALAMOS	49+850	FLEXIBLE
49	PT-HM-20	27.306961	-112.246149	BAJA CALIFORNIA S.	MULEGE	FEDERAL	ET2	1	LORETO - SANTA ROSALIA	192+000	FLEXIBLE
50	CR-HM-29	27.935433	-110.97107	SONORA	GUAYMAS	ESTATAL	N/D	191	SAN CARLOS - TINAJAS	5+150	FLEXIBLE
51	PT-HM-21	27.955182	-110.83532	SONORA	GUAYMAS	FEDERAL	ET4	15	CIUDAD OBREGON - HERMOSILLO	116+600	FLEXIBLE
52	CR-HM-30	18.299455	-93.843847	TABASCO	CARDENAS	ESTATAL	N/D	N/D	SANCHEZ MAGALLANES - CARDENAS	N/D	FLEXIBLE
53	PT-HM-22	18.048122	-94.076683	TABASCO	HUIMANGUILLO	FEDERAL	ET4	180	COATZACOALCOS - VILLAHERMOSA	41+500	FLEXIBLE
54	CR-HM-31	19.290966	-98.919808	ESTADO DE MEXICO	VALLE DE CHALCO SOLIDARIDAD	FEDERAL	A4	150D	MEXICO - PUEBLA	28+500	FLEXIBLE
55	CR-HM-32	17.306546	-96.508691	OAXACA	SAN JUAN CHICOMEZUCHIL	FEDERAL	D	175	TUXTEPEC - OAXACA	N/D	FLEXIBLE
56	PT-HM-23	17.011115	-96.551417	OAXACA	SAN JERONIMO TLACOCHAHUAYA	FEDERAL	B2	190	OAXACA - TEHUANTEPEC	29+200	FLEXIBLE
57	CR-HM-33	26.350741	-98.908551	TAMAULIPAS	CAMARGO	FEDERAL	B2	2	NUEVO LAREDO - REYNOSA	N/D	FLEXIBLE
58	CR-HM-34	26.043337	-97.922536	TAMAULIPAS	CAMARGO	FEDERAL	ET4	2	NUEVO LAREDO - REYNOSA	N/D	FLEXIBLE
59	CR-HM-35	29.322784	-100.96739	COAHUILA	CIUDAD ACUÑA	MUNICIPAL	N/D	N/D	LIBR. EMILIO MENDOZA	N/D	FLEXIBLE
60	CR-GE-2	32.268153	-115.321511	BAJA CALIFORNIA	MEXICALI	FEDERAL	B2	5	MEXICALI - SAN FELIPE	38+000	FLEXIBLE
61	CR-GE-3	32.390387	-115.194665	BAJA CALIFORNIA	MEXICALI	ESTATAL	N/D	1	MEXICALI - ESTACION COAHUILA	N/D	FLEXIBLE
62	PT-HM-24	18.505966	-92.650548	TABASCO	CENTLA	ESTATAL	N/D	N/D	FRONTERA - JONUTA	N/D	FLEXIBLE

63	CR-HM-36	20.827379	-98.726137	HIDALGO	MOLANGO DE ESCAMILLA	ESTATAL	B2	105	PACHUCA - TEMPOAL	135+600	FLEXIBLE
64	CR-HM-37	20.049989	-98.738508	HIDALGO	MINERAL DE LA REFORMA	FEDERAL	B4	82	PACHUCA - CD SAHAGUN	9+000	FLEXIBLE
65	CR-HM-38	20.786218	-99.3038	HIDALGO	ZIMAPAN	FEDERAL	B2	85	PORTEZUELO - CD VALLES	126+000	FLEXIBLE
66	CR-HM-39	20.898623	-98.700616	HIDALGO	LOLOTLA	FEDERAL	B2	105	PACHUCA - TEMPOAL	146+000	FLEXIBLE
67	CR-HM-40	20.191862	-98.437927	HIDALGO	ACATLAN	ESTATAL	N/D	N/D	FRESNILLOS - SAN AGUSTIN	N/D	FLEXIBLE
68	CR-HM-41	21.764983	-98.363675	VERACRUZ	EL HIGO	FEDERAL	D	N/D	RAMAL A EL HIGO	N/D	FLEXIBLE
69	CR-HM-42	19.192978	-104.550269	COLIMA	MANZANILLO	ESTATAL	N/D	N/D	RAMAL A AEROP. MANZANILLO	N/D	FLEXIBLE
70	PT-HM-25	16.980968	-97.89218	OAXACA	SAN JUAN TEPEUXILA	FEDERAL	N/D	125	PINOTEPA NACIONAL - PUTLA	N/D	FLEXIBLE
71	CR-HM-43	18.48556	-99.18048	GUERRERO	PUENTE DE IXTLA	FEDERAL	ET4	95D	CUERNAVACA - ACAPULCO	147+500	FLEXIBLE
72	CR-HM-44	18.2230048	-99.2172141	GUERRERO	HUITZUCO DE LOS FIGUEROA	FEDERAL	ET4	95D	CUERNAVACA - ACAPULCO	178+900	FLEXIBLE
73	CR-HM-45	18.0408598	-99.2631769	GUERRERO	HUITZUCO DE LOS FIGUEROA	FEDERAL	ET4	95D	CUERNAVACA - ACAPULCO	202+500	FLEXIBLE
74	CR-HM-46	17.7100673	-99.5093979	GUERRERO	EDUARDO NERI	FEDERAL	ET4	95D	CUERNAVACA - ACAPULCO	253+450	FLEXIBLE
75	CR-HM-47	17.7545052	-99.4894796	GUERRERO	EDUARDO NERI	FEDERAL	ET4	95D	CUERNAVACA - ACAPULCO	247+180	FLEXIBLE
76	CR-HM-48	17.41767	-99.46458	GUERRERO	CHILPANCINGO DE LOS BRAVO	FEDERAL	ET4	95D	CUERNAVACA - ACAPULCO	289+650	FLEXIBLE
77	CR-HM-49	17.3119076	-99.4744109	GUERRERO	CHILPANCINGO DE LOS BRAVO	FEDERAL	B2	95	CHILPANCINGO - ACAPULCO	39+000	FLEXIBLE
78	CR-HM-50	17.1777	-99.55286	GUERRERO	JUAN R. ESCUDERO	FEDERAL	ET4	95D	CUERNAVACA - ACAPULCO	321+170	RIGIDO
79	CR-HM-51	17.0849287	-99.597079	GUERRERO	ACAPULCO DE JUÁREZ	FEDERAL	ET4	95D	CUERNAVACA - ACAPULCO	334+130	RIGIDO
80	CR-HM-52	17.0368065	-99.6342495	GUERRERO	ACAPULCO DE JUÁREZ	FEDERAL	ET4	95D	CUERNAVACA - ACAPULCO	341+850	RIGIDO
81	CR-HM-53	17.0474265	-99.6307934	GUERRERO	ACAPULCO DE JUÁREZ	FEDERAL	ET4	95D	CUERNAVACA - ACAPULCO	340+600	RIGIDO
82	CR-HM-54	17.0854198	-99.5972774	GUERRERO	ACAPULCO DE JUÁREZ	FEDERAL	ET4	95D	CUERNAVACA - ACAPULCO	334+100	RIGIDO
83	CR-HM-55	17.1102678	-99.5770786	GUERRERO	ACAPULCO DE JUÁREZ	FEDERAL	ET4	95D	CUERNAVACA - ACAPULCO	330+050	RIGIDO
84	CR-HM-56	17.1114918	-99.575577	GUERRERO	ACAPULCO DE JUÁREZ	FEDERAL	ET4	95D	CUERNAVACA - ACAPULCO	329+850	RIGIDO

85	CR-HM-57	17.17421	-99.55292	GUERRERO	JUAN R. ESCUDERO	FEDERAL	ET4	95D	CUERNAVACA - ACAPULCO	321+500	RIGIDO
86	CR-HM-58	17.36813	-99.48078	GUERRERO	CHILPANCINGO DE LOS BRAVO	FEDERAL	B2	95	CHILPANCINGO - ACAPULCO	30+200	FLEXIBLE
87	CR-HM-59	17.5071326	-99.4801306	GUERRERO	CHILPANCINGO DE LOS BRAVO	FEDERAL	ET4	95D	CUERNAVACA - ACAPULCO	278+880	FLEXIBLE
88	PT-HM-26	23.0441776	-109.764543	BAJA CALIFORNIA S.	LOS CABOS	FEDERAL	ET2	19	LIBR. CABO SAN LUCAS - SAN JOSE DEL CABO	N/D	FLEXIBLE
89	PT-HM-27	23.331918	-109.766487	BAJA CALIFORNIA S.	LOS CABOS	FEDERAL	C	1	CABO SAN LUCAS-LA PAZ	65+400	FLEXIBLE
90	PT-HM-28	23.0923998	-109.745727	BAJA CALIFORNIA S.	LOS CABOS	FEDERAL	C	1	SAN JOSE DEL CABO - AEROP. LOS CABOS	111+000	FLEXIBLE
91	PT-HM-29	23.0493358	-110.093799	BAJA CALIFORNIA S.	LOS CABOS	FEDERAL	ET2	19	SAN PEDRO - CABO SAN LUCAS	110+000	FLEXIBLE
92	PT-HM-30	23.2290881	-110.146166	BAJA CALIFORNIA S.	LOS CABOS	FEDERAL	ET2	19	SAN PEDRO - CABO SAN LUCAS	78+250	FLEXIBLE
93	CR-HM-60	21.262126	-87.748576	YUCATAN	TIZIMIN	ESTATAL	N/D	N/D	COL. YUCATAN - EL CUYO	N/D	FLEXIBLE
94	CR-HM-61	21.323509	-87.753156	YUCATAN	TIZIMIN	ESTATAL	N/D	N/D	COL. YUCATAN - EL CUYO	N/D	FLEXIBLE
95	CR-HM-62	21.211491	-87.814695	YUCATAN	TIZIMIN	ESTATAL	N/D	N/D	TIZIMÍN - COL. YUCATÁN	35+200	FLEXIBLE
96	CR-HM-63	21.155815	-87.662558	YUCATAN	TIZIMIN	ESTATAL	N/D	N/D	CARRETERA A SANTA ROSA	N/D	FLEXIBLE
97	CR-HM-64	21.393578	-87.717707	YUCATAN	TIZIMIN	ESTATAL	N/D	N/D	COL. YUCATAN - EL CUYO - DZONOT CARTETERO	N/D	FLEXIBLE
98	PT-HM-31	21.334814	-89.309193	YUCATAN	VALLADOLID	ESTATAL	N/D	27	PROGRESO - TELCHAC PUERTO	37+550	FLEXIBLE
99	PT-HM-32	21.357648	-89.11024	YUCATAN	YOBAÍN	ESTATAL	N/D	N/D	TELCHAC PUERTO - DZILAM DE BRAVO	58+500	FLEXIBLE
100	PT-HM-33	21.370362	-89.01454	YUCATAN	DZIDZANTUN	ESTATAL	N/D	N/D	DZIDZANTUN - SANTA CLARA	N/D	FLEXIBLE
101	CR-HM-34	18.896849	-99.226242	MORELOS	CUERNAVACA	FEDERAL	ET4	95	LIBRAMIENTO DE CUERNAVACA	93+600	RIGIDO
102	CR-GE-34	31.976808	-116.774267	BAJA CALIFORNIA	ENSENADA	FEDERAL	ET4	1D	TIJUANA - SAN MIGUEL	93+500	FLEXIBLE

Anexo 2. Base de datos sobre daños - Descripción de Daños

NUM	ID	TIPO DE DAÑO	NIVEL DE DAÑO	AGENTE DE DAÑO	OBSERVACIONES
1	PT-HM-1	SECCIONAMIENTO	COLAPSO TOTAL	CORRIENTE DE AGUA	COLAPSO DE TERRAPLEN DE ACCESO A PUENTE POR EROSION
2	PT-HM-2	SECCIONAMIENTO	COLAPSO TOTAL	CORRIENTE DE AGUA	COLAPSO DE TERRAPLEN DE ACCESO A PUENTE POR EROSION
3	PT-HM-3	COLAPSO	GRAVE	CORRIENTE DE AGUA	SOCAVACION DE LA CIMENTACION DEL PUENTE
4	PT-HM-4	SECCIONAMIENTO	GRAVE	CORRIENTE DE AGUA	COLAPSO DE TERRAPLEN DE ACCESO A PUENTE POR EROSION
5	PT-HM-5	SECCIONAMIENTO	MEDIO	CORRIENTE DE AGUA	SECCIONAMIENTO EN TERRAPLEN DE ACCESO Y UN ALERO AL PUENTE POR EROSION
6	CR-HM-1	SECCIONAMIENTO	COLAPSO TOTAL	PRECIPITACION	DESLAVE DEL TALUD DE CORTE
7	CR-HM-2	EROSION	MEDIO	PRECIPITACION	EROSION Y FALLA DE TALUDES Y SEMICORONA DEL CAMINO EN UNA LONGITUD DE 592m
8	CR-HM-3	SECCIONAMIENTO	COLAPSO TOTAL	CORRIENTE DE AGUA	COLAPSO DE ALCANTARILLA DE LOSA DE 6.0m Y 1.0m
9	CR-HM-4	INUNDACION	GRAVE	PRECIPITACION	INUNDACION DE DOS CARRILES DE UN SENTIDO
10	PT-HM-6	SECCIONAMIENTO	COLAPSO TOTAL	CORRIENTE DE AGUA	COLAPSO DE TERRAPLEN DE ACCESO A PUENTE POR EROSION
11	CR-HM-5	DESLAVE	GRAVE	PRECIPITACION	FALLA DE TALUD DE TERRAPLEN POR EROSION
12	CR-HM-6	INUNDACION	MEDIO	PRECIPITACION	INUNDACION DE LA CARPETA ASFALTICA
13	PT-HM-7	COLAPSO	COLAPSO TOTAL	CORRIENTE DE AGUA	PUENTE "PASO LA YESCA" COLAPSADO POR AVENIDA DEL RIO SANTIAGO
14	PT-HM-8	SECCIONAMIENTO	GRAVE	CORRIENTE DE AGUA	COLPADO DE UNO DE LOS 5 ARCOS DEL PUENTE0
15	CR-GE-1	DERRUMBE	MEDIO	SISMO	CAIDA DE ROCAS SOBRE LA CARPETA ASFALTICA CON OSBTRUCCION DE 2 CARRILES
16	PT-GE-1	AGRIETAMIENTO	BAJO	SISMO	DESTRUCCION DE TOPES ANTISISMICOS DEL PUENTE COAUAYANA
17	PT-HM-9	EROSION	BAJO	CORRIENTE DE AGUA	SOCAVACION DEL TERAPLEN DE ACCESO AL PUENTE
18	CR-HM-7	AZOLVE	MEDIO	CORRIENTE DE AGUA	OBSTRUCCION DEL CAMINO POR AZOLVE
19	PT-HM-10	COLAPSO	COLAPSO TOTAL	CORRIENTE DE AGUA	COLAPSO DEL PUENTE "FLORES MAGÓN"
20	CR-HM-8	INUNDACION	MEDIO	CORRIENTE DE AGUA	OBSTRUCCION DEL CAMINO POR CRECIDA DE CORRIENTE DE AGUA
21	CR-HM-9	INUNDACION	GRAVE	CORRIENTE DE AGUA	OBSTRUCCION Y SOCAVACION DE LA CARPETA ASFALTICA POR CORRIENTE DE AGUA
22	CR-HM-10	SECCIONAMIENTO	GRAVE	CORRIENTE DE AGUA	SECCIONAMIENTO DE CARRETERAR POR EROSION DE TERRAPLEN
23	CR-HM-11				
24	CR-HM-12	DESLAVE	MEDIO	PRECIPITACION	BLOQUEO DEL CAMINO POR DESLAVE
25	CR-HM-13	DESLAVE	MEDIO	PRECIPITACION	BLOQUEO DEL CAMINO POR DESLAVE
26	CR-HM-14	DESLAVE	COLAPSO TOTAL	PRECIPITACION	SECCIONAMIENTO POR DESLAVE DE LA LADERA Y FALLA DEL TALUD DEL TERRAPLEN
27	CR-HM-15	INUNDACION	MEDIO	CORRIENTE DE AGUA	OBSTRUCCION DEL CAMINO POR INUNDACION Y ACUMLUCACION DE BASURA Y VEGETACION
28	PT-HM-11	DESLAVE	MEDIO	CORRIENTE DE AGUA	EROSION DEL TERAPLEN DE ACCESO AL PUENTE
29	CR-HM-16	DESLAVE	GRAVE	CORRIENTE DE AGUA	EROSION DEL TERRAPLEN DEL TERRAPLEN
30	CR-HM-17	DESLAVE	GRAVE	PRECIPITACION	BLOQUEO DEL CAMINO POR DESLAVE Y FALLA DEL TALUD DE CORTE

31	CR-HM-18	SECCIONAMIENTO	COLAPSO TOTAL	CORRIENTE DE AGUA	EROSION DEL TERRAPLEN
32	PT-HM-12	SECCIONAMIENTO	GRAVE	CORRIENTE DE AGUA	COLAPSO EN TERRAPLEN DE ACCESO A PUENTE "BRAMONAS"
33	PT-HM-13	SECCIONAMIENTO	GRAVE	CORRIENTE DE AGUA	COLAPSO DE APROCHE NORTE AL PUENTE "LAS POCITAS"
34	PT-HM-14	SECCIONAMIENTO	GRAVE	CORRIENTE DE AGUA	COLAPSO DE APROCHE SUR DEL PUENTE "SANTA RITA"
35	CR-HM-19	AZOLVE	MEDIO	CORRIENTE DE AGUA	AZOLVE DEL VADO SANTIAGO
36	CR-HM-20	INUNDACION	GRAVE	CORRIENTE DE AGUA	INUNDACION DE LA CARPETA ASFALTICA
37	PT-HM-15	SOCAVACION	GRAVE	CORRIENTE DE AGUA	COLAPSO DE PUENTE POR SOCAVACION DE CIMENTACION Y APROCHES
38	PT-HM-16	COLAPSO	GRAVE	CORRIENTE DE AGUA	COLAPSO DE PUENTE POR SOCAVACION DE CIMENTACION Y APROCHES
39	CR-HM-21	SECCIONAMIENTO	COLAPSO TOTAL	CORRIENTE DE AGUA	CORTE POR DERRUMBE DE TERRAPLEN
40	PT-HM-17	INUNDACION	MEDIO	CORRIENTE DE AGUA	INUNDACION DE TERRAPLENES DE ACCESO Y PUENTE
41	PT-HM-18	EROSION	MEDIO	CORRIENTE DE AGUA	EROSION Y ASENTAMIENTOS DE TERRAPLENES DE ACCESO A PUENTE
42	PT-HM-19	DESLAVE	GRAVE	CORRIENTE DE AGUA	SATURACION Y FALLA DE LOS TALUDES DE LOS TERRAPLENES DE ACCESO Y CONO DE DERRAME
43	CR-HM-22	EROSION	MEDIO	OLEAJE	EROSION DE LOS TALUDES POR ACCION DEL OLEAJE
44	CR-HM-23	DESLAVE	GRAVE	PRECIPITACION	SATURACION Y DESLAVE DE LADERA, 32 VICTIMAS MORTALES
45	CR-HM-24	DESLAVE	MEDIO	PRECIPITACION	SATURACION Y ASENTAMIENTO DEL TERRAPLEN Y EL PAVIMENTO
46	CR-HM-25	SECCIONAMIENTO	GRAVE	CORRIENTE DE AGUA	RUPTURA DE TRAMO POR FLUJO DE AGUA SOBRE PAVIMENTO
47	CR-HM-26	INUNDACION	GRAVE	PRECIPITACION	ANEGACION DE LA CARPETA ASFALTICA
48	CR-HM-27	SECCIONAMIENTO	COLAPSO TOTAL	CORRIENTE DE AGUA	EROSION Y ARRASTRE DE TERRAPLEN
49	PT-HM-20	COLAPSO	GRAVE	CORRIENTE DE AGUA	COLAPSO DE UN CLARO DEL PUENTE
50	CR-HM-29	SECCIONAMIENTO	GRAVE	CORRIENTE DE AGUA	SECCIONAMIENTO POR COLAPSO DE ALCANTARILLA
51	PT-HM-21	EROSION	GRAVE	OLEAJE	DESTRUCCION DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO
52	CR-HM-30	EROSION	GRAVE	OLEAJE	EROSION DE TERRAPLEN
53	PT-HM-22	COLAPSO	COLAPSO TOTAL	CORRIENTE DE AGUA	COLAPSO DEL PUENTE TONALA, 7 VICTIMAS MORTALES
54	CR-HM-31	INUNDACION	GRAVE	CORRIENTE DE AGUA	ANEGACION DE LA CARPETA ASFALTICA
55	CR-HM-32	EROSION	MEDIO	CORRIENTE DE AGUA	EROSION Y ASENTAMIENTOS DE TERRAPLENES DE ACCESO A PUENTE
56	PT-HM-23	COLAPSO	MEDIO	CORRIENTE DE AGUA	DAÑOS EN LA CIMENTACION DEL PUENTE "MACUILXOCHITL"
57	CR-HM-33	INUNDACION	MEDIO	CORRIENTE DE AGUA	BLOQUEO DEL CAMINO POR INUNDACION
58	CR-HM-34	INUNDACION	GRAVE	CORRIENTE DE AGUA	BLOQUEO DEL CAMINO POR INUNDACION
59	CR-HM-35	INUNDACION	GRAVE	CORRIENTE DE AGUA	BLOQUEO DEL CAMINO POR INUNDACION
60	CR-GE-2	AGRIETAMIENTO	GRAVE	SISMO	AGRIETAMIENTO Y ASENTAMIENTOS DE LA CARPETA ASFALTICA
61	CR-GE-3	AGRIETAMIENTO	GRAVE	SISMO	AGRIETAMIENTO Y ASENTAMIENTOS DE LA CARPETA ASFALTICA
62	PT-HM-24	COLAPSO	GRAVE	CORRIENTE DE AGUA	COLAPSO EN TERRAPLEN DE ACCESO
63	CR-HM-36	DESLAVE	MEDIO	PRECIPITACION	SATURACION Y FALLA DE TALUD DEL TERRAPLEN Y EL PAVIMENTO

64	CR-HM-37	INUNDACION	MEDIO	PRECIPITACION	INUNDACION DE LA CARPETA ASFALTICA
65	CR-HM-38	DESLAVE	MEDIO	PRECIPITACION	SATURACION Y FALLA DE TALUD DEL TERRAPLEN Y EL PAVIMENTO
66	CR-HM-39	DESLAVE	GRAVE	PRECIPITACION	SATURACION Y FALLA DE TALUD DEL TERRAPLEN Y EL PAVIMENTO
67	CR-HM-40	EROSION	GRAVE	PRECIPITACION	EROSION DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO
68	CR-HM-41	DESLAVE	MEDIO	PRECIPITACION	SATURACION Y FALLA DE TALUD DEL TERRAPLEN Y EL PAVIMENTO
69	CR-HM-42	INUNDACION	GRAVE	PRECIPITACION	BLOQUEO DEL CAMINO POR INUNDACION
70	PT-HM-25	SECCIONAMIENTO	MEDIO	CORRIENTE DE AGUA	ASENTAMIENTO DE LOS ACCESOS AL PUENTE, AGRIETAMIENTOS
71	CR-HM-43	DESLAVE	GRAVE	PRECIPITACION	DESLAVE POR FALLA DEL TALUD DE CORTE
72	CR-HM-44	DESLAVE	MEDIO	PRECIPITACION	DESLAVE POR FALLA DEL TALUD DE CORTE
73	CR-HM-45	DESLAVE	BAJO	PRECIPITACION	DESLAVE POR FALLA DEL TALUD DE CORTE
74	CR-HM-46	DESLAVE	MEDIO	PRECIPITACION	DESLAVE POR FALLA DEL TALUD DE CORTE
75	CR-HM-47	DESLAVE	BAJO	PRECIPITACION	DESLAVE POR FALLA DEL TALUD DE CORTE
76	CR-HM-48	AZOLVE	GRAVE	PRECIPITACION	AZOLVE DEL VADO
77	CR-HM-49	DESLAVE	MEDIO	PRECIPITACION	SATURACION Y FALLA DE TALUD DEL TERRAPLEN Y EL PAVIMENTO
78	CR-HM-50	DESLAVE	BAJO	PRECIPITACION	DESLAVE POR FALLA DEL TALUD DE CORTE
79	CR-HM-51	DESLAVE	BAJO	PRECIPITACION	DESLAVE POR FALLA DEL TALUD DE CORTE
80	CR-HM-52	DESLAVE	BAJO	PRECIPITACION	DESLAVE POR FALLA DEL TALUD DE CORTE
81	CR-HM-53	EROSION	GRAVE	PRECIPITACION	EROSION Y ARRASTRE DE TERRAPLEN POR AVENIDA
82	CR-HM-54	DESLAVE	MEDIO	PRECIPITACION	SATURACION Y FALLA DE TALUD DEL TERRAPLEN Y EL PAVIMENTO
83	CR-HM-55	DESLAVE	MEDIO	PRECIPITACION	SATURACION Y FALLA DE TALUD DEL TERRAPLEN Y EL PAVIMENTO
84	CR-HM-56	DESLAVE	MEDIO	PRECIPITACION	DESLAVE POR FALLA DEL TALUD DE CORTE EN EL PORTAL ACAPULCO DEL TUNEL
85	CR-HM-57	DESLAVE	BAJO	PRECIPITACION	DESLAVE POR FALLA DEL TALUD DE CORTE
86	CR-HM-58	DESLAVE	MEDIO	PRECIPITACION	DESLAVE POR FALLA DEL TALUD DE CORTE
87	CR-HM-59	DESLAVE	MEDIO	PRECIPITACION	SATURACION Y FALLA DE TALUD DEL TERRAPLEN Y EL PAVIMENTO
88	PT-HM-26	COLAPSO	BAJO	CORRIENTE DE AGUA	COLAPSO PARCIAL EN UNO DE LOS CLAROS DEL PUENTE
89	PT-HM-27	COLAPSO	COLAPSO TOTAL	CORRIENTE DE AGUA	COLAPSO DE PUENTE POR SOCAVACION DE CIMENTACION Y APROCHES
90	PT-HM-28	COLAPSO	BAJO	CORRIENTE DE AGUA	COLAPSO DE PUENTE POR SOCAVACION DE CIMENTACION Y APROCHES
91	PT-HM-29	COLAPSO	GRAVE	CORRIENTE DE AGUA	COLAPSO PARCIAL DE PUENTE POR SOCAVACION DE CIMENTACION Y APROCHES
92	PT-HM-30	COLAPSO	GRAVE	CORRIENTE DE AGUA	COLAPSO PARCIAL DE PUENTE POR SOCAVACION DE CIMENTACION Y APROCHES
93	CR-HM-60	INUNDACION	MEDIO	PRECIPITACION	INUNDACION DE LA CARPETA ASFALTICA
94	CR-HM-61	SECCIONAMIENTO	MEDIO	PRECIPITACION	SECCIONAMIENTO POR COLAPSO DE ALCANTARILLA
95	CR-HM-62	INUNDACION	MEDIO	PRECIPITACION	INUNDACION DE LA CARPETA ASFALTICA
96	CR-HM-63	INUNDACION	MEDIO	PRECIPITACION	INUNDACION DE LA CARPETA ASFALTICA

97	CR-HM-64	INUNDACION	MEDIO	PRECIPITACION	INUNDACION DE LA CARPETA ASFALTICA
98	PT-HM-31	COLAPSO	GRAVE	OLEAJE	COLAPSO DE TERRAPLEN DE ACCESO A PUENTE POR EROSION
99	PT-HM-32	COLAPSO	GRAVE	OLEAJE	COLAPSO DE TERRAPLEN DE ACCESO A PUENTE POR EROSION
100	PT-HM-33	INUNDACION	MEDIO	OLEAJE	INUNDACION DE LOS TERRAPLENES DE ACCESO AL PUENTE
101	CR-HM-34	SOCAVON	GRAVE	CORRIENTE DE AGUA	SOCAVON POR COLAPSO DE TERRAPLEN Y FALLA EN ALCANTARILLA
102	CR-GE-34	DESLAVE	GRAVE	FALLA GEOLOGICA	DESLIZAMIENT DE LA LADERA PROVOCANDO SECCIONAMIENTO DE 240M

Anexo 3. Catálogo de Imágenes de Daños



6



9



10



11



14



15



16



17



18



19



20



21



22



24



25



26



27



28



29



30



31



36



37



38



39



44



45



46



47



48



49



50



51



52



53



54



55



56



57



58



59



60



61



62



63



64



65



66



67



68



69



71



72



73



74



75



76



77



78



79



80



81



82



83



84



85



86



87



88



89



90



91



92



101



102

Bibliografía

- [1]. Aguado, A. (2012). *Estimación de la socavación en puentes para su uso en el cálculo del riesgo físico*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- [2]. Alva, O. (2015). *Evaluación de daños en la infraestructura de Quintana Roo y Yucatán causados por el huracán Wilma*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- [3]. Aviso por el que se modifica la clasificación de las carreteras, previstas en el Apéndice referido en el artículo 6o. del Reglamento sobre el Peso, Dimensiones y Capacidad de los Vehículos de Autotransporte que Transitan en los Caminos y Puentes de Jurisdicción Federal, publicado el 26 de enero de 1994 y sus respectivas modificaciones, Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, D. F., México, 12 de junio de 2015.
- [4]. “Calvin” deja deslaves y daños en carreteras en Oaxaca (2017, 13 de junio). *Diario Tiempo*. Recuperado de:

<http://diariotiempo.mx/Nacional/calvin-deja-deslaves-y-danos-en-carreteras-en-oaxaca/>
- [5]. Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED (2000). *Evaluación del impacto socioeconómico de los principales desastres naturales ocurridos en la República Mexicana durante 1999*. Recuperado el 27 de junio de 2017 de Sistema Nacional de Protección Civil, CENAPRED:

<http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/1.pdf>
- [6]. Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED (2001). *Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México*. Recuperado el 27 de junio de 2017 de Sistema Nacional de Protección Civil, CENAPRED:

<http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/36-DIAGNOSTICODEPELIGROSEIDENTIFICACINDERIESGOSDEDESASTRESENMXICO.PDF>

- [7]. Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED (2001). *Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurridos en México en el Año 2000*. Recuperado el 27 de junio de 2017 de Sistema Nacional de Protección Civil, CENAPRED:

<http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/29-NO.2-IMPACTOSOCIOECONMICODELOSPRINCIPALESDESASTRESOCURRIDOSENMXICOENELAO2000.PDF>

- [8]. Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED (2002). *Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurridos en México en el año 2001*. Recuperado el 27 de junio de 2017 de Sistema Nacional de Protección Civil, CENAPRED:

<http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/30-NO.3-IMPACTOSOCIOECONMICODELOSPRINCIPALESDESASTRESOCURRIDOSENMXICOENELAO2001.PDF>

- [9]. Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED (2003). *Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurridos en México en el Año 2002*. Recuperado el 27 de junio de 2017 de Sistema Nacional de Protección Civil, CENAPRED:

<http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/31-NO.4-IMPACTOSOCIOECONMICODELOSPRINCIPALESDESASTRESOCURRIDOSENMXICOENELAO2002.PDF>

- [10]. Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED (2004). *Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurridos en México en el Año 2003*. Recuperado el 28 de junio de 2017 de Sistema Nacional de Protección Civil, CENAPRED:

<http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/33-NO.5-IMPACTOSOCIOECONMICODELOSPRINCIPALESDESASTRESOCURRIDOSENMXICOENELAO2003.PDF>

- [11]. Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED (2005). *Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurridos en México en el Año 2004*. Recuperado el 28 de junio de 2017 de Sistema Nacional de Protección Civil, CENAPRED:

<http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/32-NO.6-IMPACTOSOCIOECONMICODELOSPRINCIPALESDESASTRESOCURRIDOSENMXICOENELAO2004.PDF>

- [12]. Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED (2006). *Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurridos en México en el Año 2005*. Recuperado el 29 de junio de 2017 de Sistema Nacional de Protección Civil, CENAPRED:

<http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/34-NO.7-IMPACTOSOCIOECONMICODELOSPRINCIPALESDESASTRESOCURRIDOSENMXICOENELAO2005.PDF>

- [13]. Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED (2007). *Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurridos en México en el Año 2006*. Recuperado el 29 de junio de 2017 de Sistema Nacional de Protección Civil, CENAPRED:

<http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/121-NO.8-IMPACTOSOCIOECONMICODELOSPRINCIPALESDESASTRESOCURRIDOSENMXICOENELAO2006.PDF>

- [14]. Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED (2008). *Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurridos en México en el Año 2007*. Recuperado el 29 de junio de 2017 de Sistema Nacional de Protección Civil, CENAPRED:

<http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/158-NO.9-IMPACTOSOCIOECONMICODELOSPRINCIPALESDESASTRESOCURRIDOSENMXICOENELAO2007.PDF>

- [15]. Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED (2009). *Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurridos en México en el Año 2008*. Recuperado el 29 de junio de 2017 de Sistema Nacional de Protección Civil, CENAPRED:

<http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/180-NO.10-IMPACTOSOCIOECONMICODELOSPRINCIPALESDESASTRESOCURRIDOSENMXICOENELAO2008.PDF>

- [16]. Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED (2010). *Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurridos en México en el Año 2009*. Recuperado el 29 de junio de 2017 de Sistema Nacional de Protección Civil, CENAPRED:

<http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/192-NO.11-IMPACTOSOCIOECONMICODELOSPRINCIPALESDESASTRESOCURRIDOSENMXICOENELAO2009.PDF>

- [17]. Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED (2011). *Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurridos en México en el Año 2010*. Recuperado el 30 de junio de 2017 de Sistema Nacional de Protección Civil, CENAPRED:

<http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/216-1.pdf>

- [18]. Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED (2012). *Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurridos en México en el Año 2011*. Recuperado el 30 de junio de 2017 de Sistema Nacional de Protección Civil, CENAPRED:

<http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/252.pdf>

- [19]. Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED (2013). *Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurridos en México en el Año 2012*. Recuperado el 30 de junio de 2017 de Sistema Nacional de Protección Civil, CENAPRED:

<http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/279-NO.14-IMPACTOSOCIOECONMICODELOSPRINCIPALESDESASTRESOCURRIDOSENMXICOENELAO2012.PDF>

- [20]. Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED (2014). *Impacto Socioeconómico de los Principales Desastres Ocurridos en México en el Año 2014*. Recuperado el 30 de junio de 2017 de Sistema Nacional de Protección Civil, CENAPRED:

<http://www.cenapred.gob.mx/es/Publicaciones/archivos/324-NO.15-IMPACTOSOCIOECONMICODELOSPRINCIPALESDESASTRESOCURRIDOSENMXICOENELAO2013.PDF>

- [21]. Centro Nacional de Prevención de Desastres CENAPRED (2016). *Descripción de los fenómenos hidrometeorológicos*. Recuperado el 2 de julio de 2017 de Sistema Nacional de Protección Civil, CENAPRED:

http://www.cenapred.gob.mx/es/documentosWeb/Enaproc/fenomenos_2016.pdf

- [22]. Crespo C. (2016). *Vías De Comunicación: Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes Y Puertos* (4ta edición). Limusa

- [23]. Dos personas mueren al caer auto en socavón de vía en Cuernavaca, inaugurada por EPN en abril (2017, 12 de julio). *Animal Político*. Recuperado de:
<http://www.animalpolitico.com/2017/07/cuernavaca-paso-expres-socavon>
- [24]. Hernández, I. E., Campos, L. C. (2008). *Daños frecuentes originados por sismo en los puentes de la Red Federal Mexicana*. Recuperado el 23 de Julio de 2017 del sitio web de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural A. C.:
http://www.smie.org.mx/SMIE_Articulos/co/co_15/te_08/ar_02.pdf
- [25]. Landsea, C. Preguntas Frecuentes A15) *How do tropical cyclones form?* (sin fecha). Recuperado el 20 de abril de 2015, de National Oceanic and Atmospheric Administration, Atlantic Oceanographic & Meteorological Laboratory:
<http://www.aoml.noaa.gov/hrd/tcfaq/A15.html>
- [26]. Ley General de Protección Civil, Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, D.F., México, 6 de junio de 2012
- [27]. Mapa Digital de México V6.3.0 - INEGI (<http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/>)
- [28]. Matías, L.G. (1998). Algunos efectos de la precipitación del huracán Paulina en Acapulco, Guerrero. *Investigaciones Geográficas*, vol. 37, 7-19
- [29]. Melville, B. y Coleman, S. (2000). Bridge Scour, *Water Resources Publications*, LLC, Colorado, USA.
- [30]. Multitud desafía al peligro y supera a militares en Tequisistlán, Oaxaca (2017, 3 de junio). *Noticias Voz e Imagen*. Recuperado de:
<http://www.nvinoticias.com/nota/60749/multitud-desafia-al-peligro-y-supera-militares-en-tequisistlan-oaxaca>
- [31]. Schott, T. et al. (2011). *The Saffir-Simpson Hurricane Wind Scale*. Recuperado el 25 de junio de 2017, de National Weather Service, National Hurricane Center:
<http://www.nhc.noaa.gov/pdf/sshws.pdf>
- [32]. SCT (2013). *Guía para la atención de emergencias en carreteras y puentes*. Recuperado el 5 de agosto de 2017 de Dirección General de Carreteras:
<http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGCC/PDF/GE0413.pdf>

- [33]. SCT (2016). Normativa para la Infraestructura del Transporte. Norma: (N·CTR·CAR·1·01·009/00). Recuperado el 15 de julio de 2017 de SCT – IMT:

<http://normas.imt.mx/normativa/N-CTR-CAR-1-01-009-16.pdf>

- [34]. SCT (2016). Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras. Recuperado el 11 de julio de Dirección General de Servicios Técnicos:

http://www.sct.gob.mx/fileadmin/DireccionesGrales/DGST/Manuales/proyecto_g/MPGC_2016.pdf

- [35]. Servicio Sismológico Nacional (2012). Reporte de Sismo - Sismo del día 20 de marzo de 2012, Oaxaca (M 7.4). Recuperado el 25 de junio de 2017 de Servicio Sismológico Nacional:

<http://www.ssn.unam.mx/jsp/reportesEspeciales/Oaxaca-Guerreo-20marzo2012.pdf>

- [36]. Sistema de Información Geográfica sobre Riesgos – CENAPRED (<http://www.atlasNacionalderiesgos.gob.mx/app/fenomenos/>)

- [37]. Tabasco, hundido y sin salir a flote (2013, 27 de octubre). Campeche Hoy. Recuperado de:

<http://campechehoy.mx/notas/index.php?ID=156616>